CAPÍTULO 1

Estrategias Terapéuticas en la Rehabilitación Deportiva

Therapeutic Strategies in Sports Rehabilitation

Pedro Antonio Calero Saa
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0002-9978-7944
pcalero22@gmail.com

Resumen

El documento sobre "Estrategias Terapéuticas en la Rehabilitación Deportiva" resalta la importancia del ejercicio terapéutico como un factor clave en el proceso de rehabilitación deportiva. Los objetivos principales de una propuesta de estrategias terapéuticas incluyen restaurar la funcionalidad y el rendimiento óptimo del deportista, prevenir lesiones recurrentes y mejorar la salud general. Para lograr estos objetivos, se sugiere un eje articulador en la planificación de la rehabilitación del deportista lesionado, adaptado a las necesidades individuales del paciente, y que se realice en fases progresivas de intensidad.

Entre las herramientas esenciales que debe contar el fisioterapeuta deportivo en la intervención a deportistas se encuentran equipos de ejercicio como bandas elásticas, pesas, plataformas de equilibrio y dispositivos de medición de fuerza y movilidad. Además, es crucial disponer de herramientas de evaluación para medir el progreso del deportista, así como recursos educativos que faciliten la comprensión de la relevancia de implementar estrategias preventivas en el ámbito deportivo.

En conclusión, la rehabilitación deportiva efectiva se basa en un enfoque integral que considera tanto los aspectos físicos como psicológicos del deportista. La correcta aplicación de ejercicios terapéuticos, junto con

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Calero Saa PA. Estrategias terapéuticas en la rehabilitación deportiva. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 19-148. https://doi.org/10.35985/9786287914179.1

un monitoreo constante y ajustes en la intensidad del programa, permite optimizar la recuperación y preparar al deportista para su regreso a la actividad competitiva. La educación y la comunicación entre el equipo de rehabilitación y el deportista son clave para el éxito del proceso.

Palabras Clave: Cinética, Ejercicio Isométrico, Ejercicio Terapéutico.

Abstract

The document on "Therapeutic Strategies in Sports Rehabilitation" highlights the importance of therapeutic exercise as a key factor in the sports rehabilitation process. The main objectives of a proposed therapeutic strategy include restoring the athlete's functionality and optimal performance, preventing recurrent injuries, and improving overall health. To achieve these objectives, the document suggests a structured approach to planning the rehabilitation of injured athletes, tailored to the individual needs of each patient, and implemented in progressive stages of intensity.

Among the essential tools that a sports physiotherapist should have for working with athletes are exercise equipment such as elastic bands, weights, balance boards, and devices for measuring strength and mobility. Furthermore, it is crucial to have assessment tools to measure the athlete's progress, as well as educational resources that facilitate understanding of the importance of implementing preventive strategies in sports.

In conclusion, effective sports rehabilitation is based on a holistic approach that considers both the physical and psychological aspects of the athlete. The correct application of therapeutic exercises, along with continuous monitoring and adjustments to the program intensity, allows for optimal recovery and prepares the athlete for a return to competitive activity. Education and communication between the rehabilitation team and the athlete are key to the success of the process.

Keywords: *Kinetics, Exercise, Isometric, Exercise Therapies*

Contexto

"El *gran descubrimiento de la Revolución Científica fue la ignorancia*".

—Yuval Noah Harari, Libro de animales a dioses "Sapiens".

En un proceso de rehabilitación, los tejidos del cuerpo responden al estrés físico mediante adaptaciones que, a la larga, permiten la mejora de su rendimiento. En eso consiste un proceso de rehabilitación, se aplica estrés al tejido que se encuentra en proceso de recuperación, de acuerdo con las tensiones específicas que enfrentará al volver a una actividad exigente. Por lo tanto, este proceso implica reacondicionar el tejido afectado. Una vez que el tejido en recuperación ha alcanzado un estado *óptimo* o maduro, el enfoque rehabilitador avanza hacia un entrenamiento más intenso para preparar al deportista para su regreso al deporte (1).

Entre las diversas estrategias utilizadas por el fisioterapeuta en la intervención con deportistas, el ejercicio terapéutico se destaca como un componente fundamental en los programas destinados a mejorar o recuperar la funcionalidad, así como a prevenir lesiones y deficiencias. El ejercicio terapéutico es crucial en un programa de rehabilitación. Los estudios han indicado que integrar el ejercicio terapéutico con otras intervenciones en las fases iniciales de una lesión contribuye a reducir el tiempo de recuperación y mejora la efectividad de los programas de rehabilitación (2).

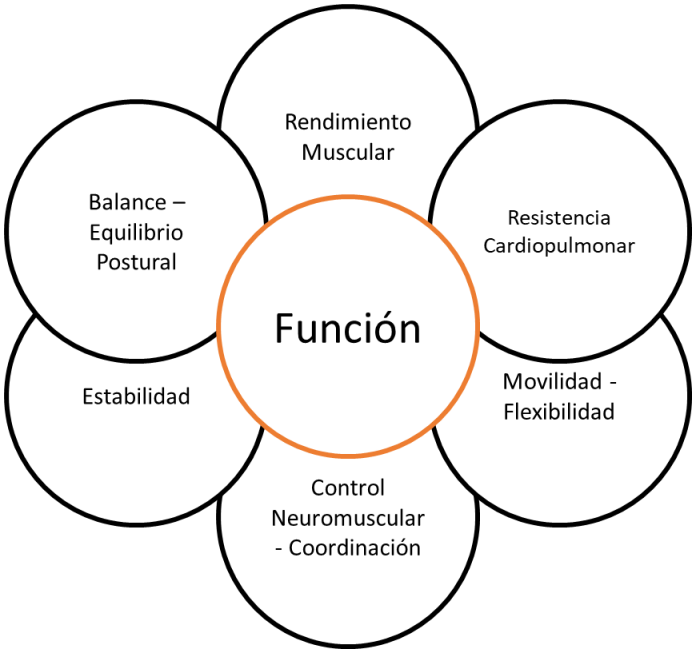
El ejercicio terapéutico es fundamental en la rehabilitación y estrategias preventivas aplicadas al contexto deportivo. Su objetivo es restaurar la función y el rendimiento óptimos del deportista, al mismo tiempo que reducir la probabilidad de lesiones recurrentes.

El ejercicio terapéutico se describe como la ejecución organizada y programada de patrones motores, alineaciones corporales o acciones físicas vinculadas al objetivo de ofrecer a un deportista las herramientas necesarias para (3):

- Evitar el deterioro de las funciones y estructuras del cuerpo.
- Mejorar, restaurar o aumentar la capacidad para realizar actividades y participar.
- Prevenir o disminuir los factores de riesgo asociados a la salud.
- Maximizar la salud general, la condición física y la sensación de bienestar.

La competencia motriz para desarrollar acciones deportivas de forma autónoma está influenciada tanto por la función física como por la psicológica y social. Los diferentes aspectos de la función física son multidimensionales e incluyen diversas áreas que están interconectadas en relación con el rendimiento del movimiento (3).

Figura 1. *Elementos interconectados de la función física*



Fuente: tomado y modificado de Humphrey (3)

Estos aspectos se definen a continuación:

- **Equilibrio:** Capacidad del cuerpo para mantener el centro de gravedad dentro de los límites de la base de sustentación (4).
- **Resistencia Cardiopulmonar:** Es la capacidad de realizar ejercicio dinámico que involucra grandes grupos musculares a una intensidad moderada a alta durante períodos prolongados (5).
- **Coordinación:** Se describe generalmente como la organización del control de las unidades motoras o la distribución de la activación muscular entre músculos específicos para generar un movimiento articular particular (6).

- **Flexibilidad:** La flexibilidad es la habilidad de una articulación, o de un conjunto de articulaciones, para moverse a lo largo de un rango completo de movimiento (ROM) sin experimentar lesiones (7).
- **Movilidad:** La movilidad se refiere a la habilidad de las estructuras o segmentos del cuerpo para moverse o ser movidos, lo que permite un ROM necesario para realizar actividades funcionales. La movilidad pasiva está influenciada por la flexibilidad de los tejidos blandos, tanto contráctiles como no contráctiles, mientras que la movilidad activa implica la activación del sistema neuromuscular (3).
- **Rendimiento Muscular:** La habilidad del músculo para generar tensión y llevar a cabo trabajo físico. El rendimiento muscular incluye aspectos como la fuerza, la potencia y la resistencia (3).
- **Control Neuromuscular:** Es la interacción entre los sistemas sensorial y motor que permite a los músculos sinergistas, agonistas y antagonistas, así como a los estabilizadores y neutralizadores, anticipar o reaccionar a la información propioceptiva y cinestésica, y luego colaborar en el orden adecuado para generar un movimiento coordinado (3).
- **Control Postural:** Capacidad del cuerpo para anticiparse o reaccionar ante condiciones que amenacen la estabilidad y mantener o ajustar la posición del cuerpo para evitar una caída (8).
- **Estabilidad:** La estabilidad articular se refiere a la habilidad del sistema neuromuscular para mantener la alineación correcta de los huesos en una articulación, utilizando tanto componentes pasivos como dinámicos. Esto se logra a través de acciones musculares sinérgicas que permiten mantener un segmento corporal en una posición fija o controlar una base estable durante el movimiento (3).

El ejercicio terapéutico es fundamental en cualquier programa de rehabilitación tras una lesión, desacondicionamiento o deficiencia. Se utiliza en combinación con otras intervenciones y se enseña en entornos clínicos. Aunque algunos ejercicios pueden parecer sencillos inicialmente, los deportistas con deficiencias debido a lesiones deportivas enfrentan dificultades para ejecutarlos correctamente. Para que el ejercicio terapéutico sea seguro y efectivo, es necesaria una instrucción especializada y estrategias de enseñanza adecuadas.

Se debe tener en cuenta que el ejercicio terapéutico se prescribe, y la prescripción del ejercicio constituye una secuencia estructurada que exige un seguimiento continuo y un razonamiento clínico. El fisioterapeuta deportivo,

para la intención de este libro, como especialista en el análisis y comprensión del movimiento, debe elegir ejercicios que se adapten a las necesidades individuales (principio de individualidad) y ajustar la prescripción según las respuestas del deportista (9), teniendo en cuenta aspectos como:

Establecer objetivos personalizados que se modifiquen a medida que el deportista progrese.

1. Seleccionar ejercicios adecuados basados en principios fundamentales.
2. Evaluar la aptitud funcional del paciente para ejecutar las rutinas terapéuticas y determinar la carga correcta.
3. Enseñar a los pacientes a ejecutar los ejercicios de manera segura y eficiente.
4. Monitorear y evaluar las reacciones al ejercicio.

Los fisioterapeutas deportivos cuentan con una amplia gama de ejercicios a su disposición, lo que les brinda la oportunidad de desarrollar programas adaptados a las características funcionales propias de cada paciente, en lugar de depender únicamente de protocolos estándar. Si bien estos protocolos pueden ser útiles al ofrecer directrices y estimaciones de tiempo de recuperación, la implementación de principios de prescripción de ejercicios seguros permite a los terapeutas diseñar programas únicos y motivadores que realmente se alineen con los objetivos de los deportistas.

La intervención por medio del ejercicio terapéutico consta inicialmente de un proceso de evaluación exhaustiva por parte del fisioterapeuta deportivo, que incluye la recopilación de antecedentes y pruebas específicas para identificar el nivel de compromiso y las limitaciones funcionales que afectan el rendimiento del deportista.

Consideraciones Generales

La intervención en la rehabilitación de un deportista por medio del ejercicio terapéutico requiere que el fisioterapeuta deportivo tenga en cuenta aspectos importantes como:

1. **Precauciones en la curación:** Durante la estructuración de un plan de intervención de rehabilitación basado en ejercicio terapéutico, es fundamental que el fisioterapeuta considere las limitaciones fisiológicas que afectan la curación. Generalmente, la fuerza del tejido disminuye tras una lesión, pero aumenta con el tiempo a medida que se recupera.

Factores como la edad, el estado nutricional y la gravedad de la lesión son determinantes en la velocidad de curación, por lo que el programa debe adaptarse a estas condiciones (1).

2. **Tensión o estrés:** El tejido conectivo que se encuentra presente en casi todos los tejidos, responde al estrés de acuerdo con lo establecido con la Ley de Hooke y la curva de tensión-deformación. La disposición de fibras de colágeno influye en cómo el tejido reacciona al estrés; para dar un ejemplo, los ligamentos se elongan un poco más que los tendones bajo la misma fuerza debido a su estructura más irregular (1).

3. **Curva de Tensión-Deformación:** Esta curva ilustra cómo la tensión afecta al tejido conectivo, mostrando diferentes áreas como la región elástica, la región plástica y el punto de falla. La región elástica permite que el tejido regrese a su longitud original, mientras que la región plástica implica una elongación permanente debido a la ruptura de algunas fibras de colágeno. El punto de falla ocurre cuando la tensión que somete al tejido excede entre el 6 y el 10% de la longitud en reposo del tejido, por tal motivo, es crucial que el fisioterapeuta deportivo considere la fragilidad del tejido en curación, ya que su capacidad para soportar tensión se compromete al inicio del proceso (1).

4. **Etapas de la Rehabilitación:** Son fundamentales para la fase de rehabilitación funcional de una lesión, ya que el tiempo y el momento son cruciales. La intervención adecuada por parte del fisioterapeuta deportivo puede incluir modalidades y ejercicios terapéuticos, pero es esencial tener cuidado con la intensidad de estos, ya que un ejercicio mal dosificado en las primeras fases puede dañar el tejido en curación, aumentar la inflamación y prolongar la recuperación. Las etapas de rehabilitación son marcos temporales que guían al fisioterapeuta deportivo en la planificación de intervenciones, aunque no existan transiciones estrictas entre ellas, ya que pueden superponerse y variar según el individuo. Estas fases deben considerarse como guías, donde la experiencia del fisioterapeuta es fundamental para gestionar el proceso de rehabilitación. Estas etapas son progresivas y se ejecutan una sobre otra. Una vez que se logre que el deportista logre tareas básicas como el rango de movimiento, el deportista puede avanzar hacia el fortalecimiento de ese rango. Las fases, generalmente, son las siguientes:

    a. **Fase Aguda:** Esta fase se extiende desde el momento en que se extiende hasta que se controla la hinchazón. El tratamiento inicial se basa en el método RICE (reposo, hielo, compresión, elevación) para aliviar el

dolor y la inflamación, lo que ayuda a reducir el tejido cicatricial. La aplicación de hielo es más efectiva en las primeras 72 horas, aunque puede continuar por más tiempo, y debe hacerse con precaución para evitar quemaduras. Se puede comenzar con movimientos suaves, pero esto es debatido. La inmovilización inicial puede prevenir más daños y limitar el tejido cicatricial, pero si se prolonga, puede causar debilidad muscular y pérdida de movilidad. Se sugiere inmovilizar por un máximo de 3 a 7 días antes de iniciar movimientos suaves. Investigaciones recientes muestran que comenzar a cargar peso pronto, tras cirugías de tendón de Aquiles o fracturas de tobillo, mejora la recuperación sin aumentar riesgos. Por lo tanto, es importante encontrar un balance entre el movimiento y la inmovilización (10, 11).

b. Fase Reparativa: Esta fase de rehabilitación comienza una vez que se ha controlado la hinchazón y se han reducido los efectos inflamatorios. En este momento, el tejido conectivo en curación sigue siendo frágil, pero puede tolerar un estrés controlado, aspecto clave en la restauración de la capacidad muscular. Según la ley de Wolff, aplicar tensión de manera adecuada a los huesos y tejidos lesionados favorece su curación y promueve la hipertrofia, contribuyendo así a su fortaleza. El propósito esencial de esta etapa es restaurar la flexibilidad y la fuerza en la zona afectada, mientras se mantiene un nivel de condición cardiovascular. Los ejercicios deben ser progresivos y, en la medida de lo posible, indoloros, ya que un exceso de tensión podría desencadenar una respuesta inflamatoria. Es crucial aplicar la tensión adecuada para evitar la rigidez del tejido, lo que podría retrasar la recuperación y causar adherencias. Durante esta fase, se proyecta un incremento relevante en la amplitud articular, lo que permite avanzar en el programa de rehabilitación hacia ejercicios de flexibilidad y fuerza. La fuerza se estimula de manera progresiva, utilizando métodos de baja resistencia y más repeticiones. Una vez optimizadas la movilidad y la fuerza, se integran ejercicios específicos para desarrollar la coordinación motriz y la agilidad funcional, esenciales para la funcionalidad y el rendimiento deportivo. Además, se enfatiza la restauración neuromuscular a través de intervenciones propioceptivas, preparando al paciente en el desarrollo de habilidades complejas requeridas en la fase de reincorporación al entrenamiento. Esta fase concluye cuando el rango de movimiento de la extremidad lesionada se puede realizar sin dolor y se ha recuperado la mayor parte de su movilidad (10, 11).

c. **Fase de retorno al Deporte:** Esta fase de rehabilitación comienza una vez que el paciente ha recuperado completamente el rango de movimiento, la fuerza muscular y la propiocepción adecuada. A pesar de sentirse libre de síntomas, es fundamental un retorno gradual y controlado al deporte para prevenir la reaparición de la lesión. Durante esta etapa, se realizan pruebas funcionales y ejercicios específicos del deporte, aumentando la intensidad y enfocándose en actividades de agilidad, coordinación y pliometría, lo que prepara al deportista para las exigencias de su disciplina. Es común que los atletas deseen regresar rápidamente a su nivel anterior, lo que puede generar impaciencia. Para facilitar la actividad sin dolor, se pueden utilizar soportes externos como aparatos ortopédicos o vendajes según sea necesario. Una vez que el atleta está asintomático, se incorporan ejercicios avanzados que refuerzan la resistencia del tejido y optimizan su rendimiento (10, 11).

5. **Inhibición Artrogénica:** Es un mecanismo fisiológico que implica la inhibición o facilitación de los músculos que rodean una articulación lesionada, con el fin de prevenir movimientos que podrían causar daño adicional (12).

6. **Principio de adaptación específica a las demandas impuestas (SAID):** Este principio es crucial en el diseño de programas de rehabilitación, basados en el ejercicio terapéutico. Establece que, para mejorar un aspecto específico del rendimiento, como la potencia muscular, el programa debe estar diseñado para satisfacer las demandas específicas de ese objetivo. En el caso de la potencia, se requiere de ejercicios que incrementen la carga de trabajo y se reduzca el tiempo de ejecución.

   Este principio se basa en la ley de Wolf, que indica que los sistemas corporales se adaptan a las tensiones que se les aplican. Así, este principio ayuda al fisioterapeuta deportivo a establecer parámetros de ejercicio que genere efectos de entrenamiento específicos, alineados con las necesidades y objetivos funcionales del deportista (13).

   Durante la rehabilitación, es fundamental que las tensiones impuestas a una estructura lesionada sean adecuadas para evitar agravar la lesión. Ejercicios demasiado intensos o prolongados pueden obstaculizar el proceso de curación, manifestándose en síntomas como hinchazón, aumento del dolor, estancamiento en la fuerza o rango de movimiento, y laxitud en ligamentos en recuperación. Ante estos signos, es necesario que el entrenador ajuste la intensidad del programa de rehabilitación.

Generalmente, la rehabilitación inicial incluye ejercicios submáximos realizados en sesiones cortas y frecuentes, adaptando la intensidad a medida que avanza la recuperación. Con el tiempo, a medida que el paciente mejora, la intensidad de los ejercicios puede incrementarse, y la frecuencia disminuir, hasta que finalmente se retome un régimen de acondicionamiento que incluya ejercicios de alta intensidad varias veces a la semana (14).

7. **Consideraciones Neuromusculares en la Rehabilitación:** La corteza motora busca lograr movimientos activando grupos musculares, mas no unidades motoras específicas. La coordinación neuromuscular compleja es aprendida con la práctica, pero las lesiones pueden limitar temporalmente esta capacidad. En la rehabilitación es esencial mejorar el control motor y reducir la inhibición artrogénica relacionada con el dolor. Los patrones de movimiento complejos se logran al disminuir la inhibición muscular, y realizar actividades deportivas específicas en etapas avanzadas de rehabilitación ayudan al deportista a recuperar sus habilidades. Es importante que el fisioterapeuta deportivo aplique conceptos de aprendizaje motor, aunque a menudo no es consciente de ello. A partir de instrucciones y realimentación adecuada, se podrá satisfacer las necesidades de aprendizaje del deportista (1).

Elementos Fundamentales del Ejercicio Terapéutico

En un programa de rehabilitación integral, se identifican dos componentes esenciales: las modalidades y el ejercicio terapéuticos. Las modalidades se utilizan para abordar los efectos iniciales de una lesión, como espasmos, dolor y edema. Por otro lado, el ejercicio terapéutico es fundamental con el fin de facilitar la reincorporación del atleta a sus actividades deportivas. Para que este ejercicio sea efectivo, es necesario intervenir en ciertos parámetros de manera secuencial, asegurando que cada uno se restablezca al menos a los niveles previos a la lesión. Esto permitirá al deportista participar de forma segura y normal en sus actividades (15).

Estos parámetros son:

1. Flexibilidad y amplitud de movimiento,
2. Fuerza y resistencia muscular,
3. Equilibrio, coordinación y agilidad,
4. Actividad funcional, y
5. Actividad específica para el rendimiento.

Los parámetros clave en un programa de rehabilitación se organizan de manera jerárquica, simulando una escalera, donde cada escalón depende del éxito del anterior. El primer escalón se encuentra en el alivio de la percepción nociceptiva y la gestión de efectos secundarios de las lesiones, como el derrame articular y el espasmo muscular, que se abordan principalmente mediante modalidades terapéuticas. A medida que se avanza por los escalones, se interviene la flexibilidad y la amplitud de movimiento, seguidas por el desarrollo de la fuerza y la resistencia muscular. Con el progreso se mejora el equilibrio, la coordinación y la agilidad, culminando en actividades funcionales y específicas para el rendimiento deportivo. Es importante mencionar que en el primer escalón se debe incluir también la corrección de deficiencias, sobre todo en patologías crónicas de origen no traumático. En este punto, el grupo interdisciplinario desempeña un papel de investigadores, buscando la causa subyacente de la patología y trabajando para corregir las deficiencias y sus causas (15).

Ejercicio Terapéutico

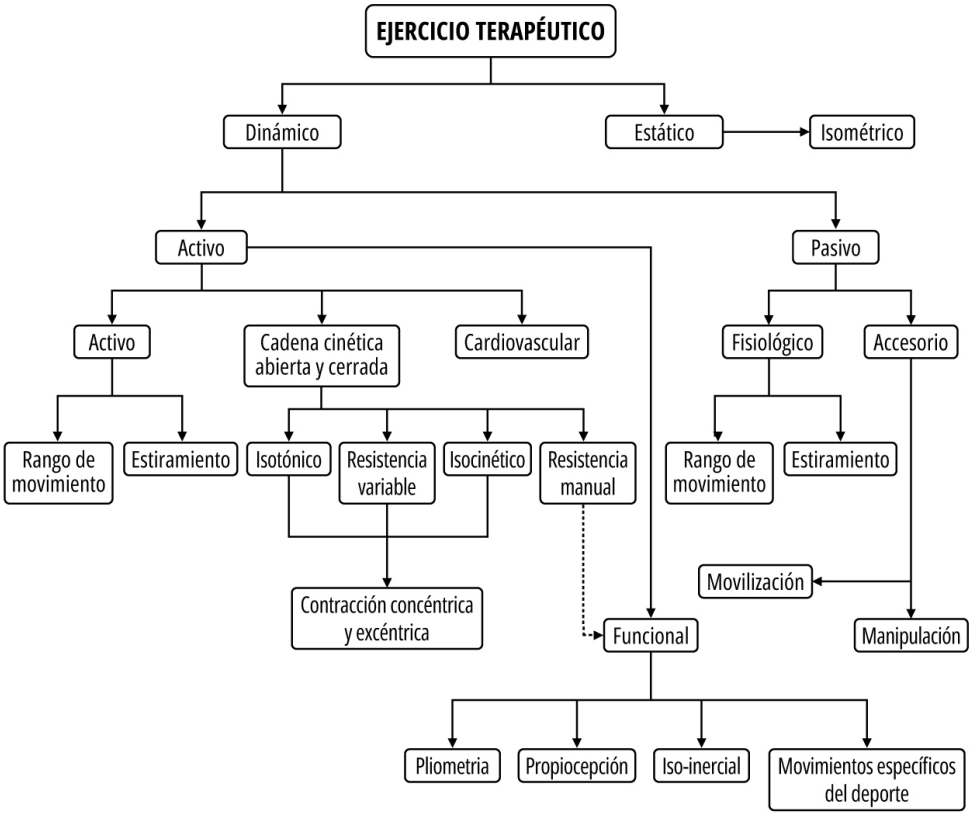
El ejercicio terapéutico se refiere a una actividad física prescrita con el propósito de restaurar o mejorar funciones específicas en un deportista tras haber sufrido una lesión. Un programa de rehabilitación completo debe centrarse en alcanzar metas concretas tanto a corto plazo. Aunque las modalidades terapéuticas son relevantes, no son el aspecto más crucial para el éxito de estos objetivos. La verdadera clave para una rehabilitación efectiva es el ejercicio terapéutico que permite a la estructura anatómica retomar su función habitual (1).

El término "Ejercicio Terapéutico" es comúnmente utilizado para referirse a los ejercicios incluidos en un programa de rehabilitación, que están diseñados específicamente para restaurar la capacidad funcional habitual tras un evento lesivo (14).

El ejercicio terapéutico implica realizar movimientos con el propósito de subsanar limitaciones funcionales, mejorar la función musculoesquelética o mantener el bienestar general. La clave está en el movimiento, que puede ser facilitado de manera pasiva por el fisioterapeuta o activamente por el propio deportista. Durante el movimiento pasivo, los músculos se estiran, mientras que con el movimiento activo, se contraen (16).

La siguiente figura presenta una clasificación de los diferentes ejercicios terapéuticos que un fisioterapeuta deportivo puede integrar en un programa de rehabilitación.

Figura 2. *Clasificación del Ejercicio Terapéutico*



Fuente: Tomado y Modificado de Dale (1)

Ejercicio Pasivo

El ejercicio pasivo, que es asistido por el fisioterapeuta deportivo, se emplea para alcanzar el rango de movimiento necesario cuando el movimiento activo no es recomendable, como tras una cirugía de la cadera, o para conservar el rango cuando el movimiento activo no se puede realizar (17). Este tipo de ejercicio consiste en mover las articulaciones mediante una fuerza externa, con mínima o nula participación del deportista atendido. Este tipo de ejercicio se divide en dos tipos: no forzado y forzado. Al aplicar un no forzado, se ayuda a mantener el movimiento normal de las articulaciones dentro de un rango indoloro, como cuando se realizan movilizaciones articulares de grado I. Por otro lado, los ejercicios pasivos forzados generan

movimiento contra la resistencia del tejido y pueden causar incomodidad; son más agresivos y deben ser realizados por fisioterapeutas deportivos capacitados (1).

El propósito de este tipo de ejercicios es restaurar los movimientos articulares accesorios y fisiológicos. Los movimientos accesorios son esenciales para que se realicen los movimientos fisiológicos, los movimientos accesorios describen cómo una interfaz anatómica entre extremos articulares se desplaza en relación con otra y se conoce como artrocinemática. Estos incluyen el giro, el rodamiento y el deslizamiento. A diferencia del movimiento fisiológico, este es voluntario. Los movimientos accesorios suelen acompañar al movimiento fisiológico y ambos ocurren al mismo tiempo. Aunque no pueden realizarse de manera independiente, los movimientos accesorios pueden ser generados por una fuerza externa (18). La restauración de movimientos como el giro, el rodamiento y el deslizamiento se lleva a cabo mediante movilización y manipulación por parte del fisioterapeuta.

Con relación a las evidencias, un estudio de Lee et al. analizó dos enfoques terapéuticos posteriores a la reparación artroscópica del manguito rotador en 64 hombros. El grupo A recibió rehabilitación pasiva temprana agresiva, mientras que el grupo B tuvo una rehabilitación pasiva limitada. Aunque el grupo A mostró mejoras más rápidas en el rango de movimiento durante los primeros tres meses, no hubo diferencias significativas al año de seguimiento, excepto en rotación interna. Ambos grupos experimentaron disminución del dolor, mejora en el movimiento y la función, pero el movimiento agresivo temprano podría aumentar el riesgo de fallas anatómicas (19).

En un informe de un caso clínico de Qiu & Ma, se describe la rehabilitación de un atleta recreativo de 25 años tras una cirugía por rotura del tendón rotuliano. La restauración del rango de movimiento articular comenzó al día siguiente de la cirugía con ejercicios de rango de movimiento (ROM) pasivo. En la Etapa 1 (0 a 2 semanas), se realizaron ejercicios pasivos de la rodilla. En la Etapa 2 (3 a 5 semanas), se restauró gradualmente la movilidad con ejercicios indoloros. En la Etapa 3 (6 a 11 semanas), el ROM alcanzó los 140°. Finalmente, en la Etapa 4 (12 a 16 semanas), se logró un ROM pasivo de 180° con ejercicios de movilidad articular. Este enfoque estructurado permitió una recuperación efectiva en 16 semanas, y se realizó una segunda cirugía en la semana 19 para retirar alambres de descompresión. La rehabilitación temprana mejoró significativamente la función y fuerza de la rodilla, abordando causas como tendinopatía no tratada y desequilibrios musculares (20).

Ejercicio Activo

Los ejercicios activos y asistidos son útiles para movilizar la articulación afectada, recuperar el control neuromuscular de una extremidad y permitir que el deportista participe en el ejercicio. El ejercicio activo implica la contracción muscular durante el movimiento articular, aunque el deportista puede no tener un control neuromuscular completo, lo que puede requerir asistencia para realizar la actividad. Se lleva a cabo sin la asistencia del fisioterapeuta ni el uso de dispositivos mecánicos (9). Estos ejercicios son generalmente seguros, salvo en casos de reparación muscular y tendinoso, donde el rango de movimiento activo está contraindicado en la etapa preliminar del abordaje rehabilitador (1).

En un proceso de rehabilitación, los ejercicios activos se inician en la etapa reparativa temprana, cuando haya disminución de la inflamación, cuando el dolor ya no es constante y no aumente con el movimiento (21). La etapa subaguda de curación es un período de transición en el que se pueden iniciar ejercicios activos dentro del rango indoloro del tejido lesionado, avanzando con precaución hacia ejercicios de fortalecimiento y resistencia, siempre respetando la tolerancia del tejido en recuperación. Si se mantiene una intensidad y frecuencia seguras, el dolor y la hinchazón tienden a disminuir con el tiempo. La respuesta del paciente es clave para determinar la velocidad y la intensidad del progreso. Si se observan signos de inflamación o una reducción en el rango de movimiento, se requiere una modulación en la carga del entrenamiento, ya que esto puede indicar el desarrollo de inflamación crónica y una cicatrización que limita el movimiento (21).

Ejercicio Estático (Isométrico)

Son aquellos que se realizan sin movimiento articular, manteniendo los músculos en una longitud fija mientras la tensión generada iguala la resistencia. Para optimizar el desarrollo de fuerza, es importante que los deportistas realicen ejercicios estáticos en diferentes ángulos articulares, como por ejemplo 20°, 50°, 110° o 135° de una flexión de codo. La duración de la tensión debe ser entre 3 y 10 segundos, y es fundamental evitar el esfuerzo excesivo durante la contracción, ya que esto puede inducir una elevación transitoria de la tensión arterial. No obstante, el entrenamiento estático con contracciones isométricas controladas puede ayudar a reducir la presión arterial en reposo (1).

La necesidad de fuerza estática y resistencia es crucial en el control corporal durante actividades funcionales, que a menudo requieren un equilibrio entre el control estático en una parte del cuerpo y la actividad dinámica en otra. La pérdida

de fuerza muscular estática puede ocurrir rápidamente con la inmovilización, estimándose una disminución de entre el 5% y el 8% por semana (13).

Las demandas funcionales suelen requerir mantener una posición contra alta resistencia por un corto tiempo o baja resistencia por un período prolongado. En este contexto, la resistencia muscular es más relevante que la fuerza para mantener la estabilidad postural y prevenir lesiones en actividades diarias. Por ejemplo, los músculos posturales del tronco y las extremidades inferiores se contraen isométricamente para mantener la posición erguida y proporcionar estabilidad (13).

Los ejercicios isométricos son una estrategia efectiva para mejorar la función muscular. Este tipo de ejercicios son empleados en el tratamiento inicial de diferentes lesiones, especialmente cuando el dolor limita el rango de movimiento (22). Estudios como el de Pucci et al.; Del Balso & Cafarelli reportaron aumentos significativos en la fuerza, que oscilan entre el 20% y el 35% tras 3 a 4 semanas de entrenamiento físico (23, 24).

Otro estudio realizado por Lee et al. investigó el impacto de diferentes tipos de contracciones musculares (isométricas, isotónicas e isocinéticas) en la fuerza funcional y la masa muscular. a pesar de que se han llevado a cabo múltiples investigaciones, los resultados no son concluyentes debido a la falta de estandarización en los ejercicios. En este estudio se compararon la fuerza muscular, la masa y el rendimiento funcional de 31 hombres no entrenados, quienes fueron asignados a grupos de entrenamiento isotónico, isométrico o isocinético, realizando ejercicios para el cuádriceps tres veces por semana durante ocho semanas. Los resultados mostraron un aumento significativo en la masa muscular magra en los participantes del grupo isométrico (+3,1%) e isotónico (+3,9%), mientras que solo el grupo de isocinético mejoró en la prueba de triple salto. A raíz de este estudio, los autores concluyen que el entrenamiento isométrico es una alternativa efectiva al isotónico para aumentar la masa muscular y al isocinético dirigido a mejorar la funcionalidad en entornos domésticos y de práctica deportiva (25).

Ejercicio Dinámico

Se define por la activación muscular que produce desplazamientos articulares y abarca diversas modalidades, como los ejercicios isotónicos de resistencia variable, manuales e isocinéticos, que se ajustan a la resistencia. Este tipo de ejercicios también pueden tener un enfoque más funcional, incluyendo ejercicios pliométricos, propioceptivos, inerciales y específicos del deporte.

El término "Isotónico" significa "tensión constante" o "misma tensión", pero es un concepto erróneo, ya que la tensión que genera un músculo varía durante el movimiento. La mayor tensión en un ejercicio isotónico se alcanza en la posición más débil del músculo. Por ejemplo, si un individuo logra levantar 18 kg durante una flexión de codo, este peso representa el máximo que los flexores del codo pueden soportar en su punto más débil, que se da cuando el ángulo del codo está a 90° y la gravedad es máxima. Aunque los flexores pueden levantar más peso al inicio y al final del movimiento, donde están en su longitud *óptima*, no logran superar los 18 kg en el punto más débil. Esto también implica que el peso se siente más liviano al principio y al final del movimiento, lo que permite al individuo levantarlo más rápido en estas fases, mientras que el movimiento se vuelve más lento al acercarse y al alejarse de los 90° (26).

En el ejercicio dinámico se producen dos tipos de acciones musculares: las contracciones concéntricas y las acciones **excéntricas**. En la contracción *concéntrica*, se produce una activación dinámica del sistema muscular en respuesta a estímulos que inducen tensión y se acorta físicamente. Esto ocurre cuando una fuerza interna supera una resistencia externa. Por ejemplo, al levantar un peso, el músculo se acorta mientras desarrolla la tensión necesaria para mover la carga (27, 28). Durante este tipo de contracción, la resistencia es menor que la tensión producida por la contracción muscular, por lo tanto, el musculo termina acortándose.

En contraste, las acciones *excéntricas* involucran una activación dinámica del músculo y la generación de tensión que es inferior a la resistencia externa. Esto resulta en un alargamiento del músculo mientras este controla, desacelera o amortigua la carga, como sucede al bajar un peso (13).

En un ejercicio de sentadilla, la contracción concéntrica sucede cuando el deportista extiende las piernas optando la postura bípeda desde las cuclillas. Durante ese movimiento, los músculos de los miembros inferiores, especialmente el grupo de cuádriceps y glúteos, se acortan para levantar el peso del cuerpo. Por otro lado, la acción excéntrica se produce cuando desciendes hacia la posición de cuclillas. Durante esta fase, los mismos grupos musculares (cuádriceps y glúteos) se alargan mientras amortiguan y controlan el descenso del cuerpo, lo que permite que el movimiento sea controlado y seguro. La fase excéntrica es crucial, ya que permite al musculo generar gran cantidad de fuerza para desacelerar el movimiento.

En una contracción concéntrica, las inserciones musculares se acercan entre sí, mientras que en la acción excéntrica se separan (29). Durante la contracción

concéntrica, el músculo activa su capacidad de acortamiento, generando fuerza que se transmite por el tendón hasta la articulación, facilitando el desplazamiento y alterando el ángulo articular. En las acciones excéntricas hay una disipación de energía mecánica al desacelerar los movimientos del cuerpo (30). Este tipo de acciones musculares se identifica o se ejecutan cuando un individuo baja por las escaleras, donde el grupo muscular cuádriceps se alarga generando fuerza y desacelerando el cuerpo. Adicionalmente, las acciones excéntricas permiten convertir la energía cinética en energía elástica que se almacena en los tendones, recuperando parcialmente esa energía y resultando en un menor esfuerzo muscular (31).

En las intervenciones con ejercicio isotónico, debido a la gravedad y las características del tejido, un individuo puede realizar una acción excéntrica con una mayor carga que la que puede realizar en una contracción concéntrica (32). El entrenamiento excéntrico se ha demostrado ser más efectivo que el entrenamiento concéntrico para aumentar la hipertrofia muscular y la fuerza. Las acciones musculares excéntricas requieren menos reclutamiento neuromotor que las concéntricas ante la misma resistencia, lo que refleja una eficiencia superior en la generación de fuerza. Esto resulta en menores requerimientos metabólicos, lo que a su vez se traduce en una menor activación simpática y niveles de lactato en sangre durante las acciones excéntricas (33). Diversas investigaciones han demostrado que el entrenamiento excéntrico demuestra mayor eficacia que el concéntrico en la promoción de la hipertrofia y el desarrollo de fuerza muscular. Las acciones de ejercicio excéntrico generan un mayor torque con menor activación muscular y un retraso electromecánico en comparación con las acciones concéntricas. Además, requieren menos energía metabólica y activan más las fibras musculares Tipo IIx. Esto permite que el ejercicio excéntrico optimice la eficacia del entrenamiento, logrando mejores adaptaciones en menos tiempo para atletas de alto rendimiento. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, el entrenamiento ejercicio excéntrico también puede causar hinchazón y reducir el rango de movimiento, lo que está asociado con cambios en la rigidez muscular y una notable pérdida de fuerza entre 24 y 72 horas después del ejercicio (34).

Las contracciones concéntricas se utilizan para acelerar las extremidades, como sucede con el grupo muscular cuádriceps que impulsa la pierna hacia adelante para saltar. Por otro lado, las acciones excéntricas se utilizan para desacelerar las extremidades y adsorber impactos, como el grupo de isquiotibiales que controlan el descenso de la pierna al aterrizar tras un salto. Una diferencia significativa es que las acciones excéntricas pueden generar entre un 14% y un

50% más de fuerza en comparación con las contracciones concéntricas. Esto anterior se debe a dos razones: 1-el trabajo mecánico previo de las proteínas de actina y miosina permite que se separen bajo tensión controlada, lo que requiere menos energía; y 2-se ahora energía gracias a la elongación de los componentes elásticos del músculo (1).

De manera tradicional, el entrenamiento de resistencia se ha centrado en las contracciones concéntricas, sin embargo, en tiempos recientes ha sido destacada la relevancia de las acciones excéntricas, especialmente en la rehabilitación de lesiones deportivas. Estas acciones son cruciales para desacelerar movimientos rápidos, como en el caso de un lanzador de béisbol, el cual depende de las acciones excéntricas de los rotadores externos de la articulación glenohumeral para desacelerar el húmero. En programas de rehabilitación, es fundamental incluir entrenamiento excéntrico para mejorar la fuerza y prevenir lesiones (35).

Para maximizar la hipertrofia, es esencial combinar las contracciones concéntricas y las acciones excéntricas. La literatura indica que el musculo debe ser sobrecargado y fatigado tanto en concéntrico como en excéntrico para lograr mejoras significativas en la fuerza. La recomendación es trabajar una fase concéntrica que dure de 1 a 2 segundos y una fase excéntrica de 2 a 4 segundos, manteniendo una relación 1:2. No obstante, las acciones excéntricas prolongadas afectan negativamente los movimientos explosivos, mientras que las más cortas pueden causar mayor dolor. Fisiológicamente, el músculo se fatiga más rápido durante las contracciones concéntricas que en las acciones excéntricas (35).

Las intervenciones por medio de trabajo concéntrico son efectivas para reducir el dolor (36). Las acciones musculares en fase excéntrica se distinguen por una mayor producción de fuerza rotacional y una menor demanda neuromuscular (37, 38). Adicionalmente, el entrenamiento excéntrico conduce a una mejor adaptación muscular en deportistas de alto rendimiento en un tiempo más corto (39). También hay evidencia que indica que, si se realiza correctamente, el entrenamiento excéntrico puede ayudar a prevenir lesiones (40). A pesar de sus múltiples beneficios, el entrenamiento excéntrico puede provocar dolor, hinchazón y una reducción en el rango de movimiento debido al daño en las fibras musculares, lo que puede resultar en debilidad muscular (41). Por lo tanto, el efecto de los ejercicios excéntricos y concéntricos sobre los parámetros musculares sigue siendo un tema de discusión, y los mecanismos que regulan estas adaptaciones no se han esclarecido completamente (31).

Es importante señalar que los entrenamientos excéntricos en individuos no entrenados se asocian a un mayor riesgo de lesiones en comparación con un entrenamiento de contracciones concéntricas con la misma carga (42), por lo tanto, es fundamental adaptar los programas de entrenamiento o intervención a cada individuo o deportista para maximizar sus beneficios, mejorar la adherencia y reducir el riesgo de lesiones. No obstante, se ha observado que realizar entrenamientos excéntricos o isométricos puede ofrecer un efecto protector contra lesiones musculares en acciones excéntricas posteriores (43).

a) **Carga y desarrollo de la fuerza muscular:** las acciones excéntricas generan más fuerza que las contracciones concéntricas bajo las mismas condiciones, permitiendo controlar cargas mayores al bajarlas. Esta diferencia se debe a que, en el ejercicio excéntrico, la fuerza se regula tanto por los componentes contráctiles del músculo como por el tejido conectivo no contráctil. En contraste, en el ejercicio concéntrico, solo intervienen los componentes contráctiles, lo que requiere reclutar más unidades motoras y resulta en un esfuerzo mayor para controlar la misma carga.

b) **Velocidad del Ejercicio:** la velocidad afecta la capacidad de fuerza de la unidad neuromuscular. Disminuir la resistencia externa permite contracciones concéntricas más rápidas y con menor tensión, mientras que aumentarla permite acciones excéntricas con alta tensión, que requieren *más fuerza a medida que la carga aumenta, hasta alcanzar un límite en la generación de fuerza*.

c) **Requerimiento Energético:** el ejercicio excéntrico es más eficiente metabólicamente que el concéntrico, ya que requiere menos oxígeno y energía. Esto permite que actividades como el descenso de escaleras mejoren la resistencia muscular de forma más efectiva, ya que la fatiga se desarrolla más lentamente.

d) **Entrenamiento por Irradiación:** este efecto se observa tanto en entrenamientos excéntricos como concéntricos, lo cual, provoca un leve aumento de fuerza en el grupo muscular del lado contrario al ejercitado. Este efecto puede deberse a la necesidad de estabilizar el cuerpo durante ejercicios intensos.

e) **Dolor Muscular de Origen Tardío (DOMS):** las acciones excéntricas de alta intensidad tienden a causar más DOMS que las concéntricas, posiblemente debido a un mayor daño muscular. Sin embargo, la intensidad y el volumen son iguales, no hay diferencias significativas en el DOMS. La progresión del ejercicio excéntrico puede prevenir la aparición del DOMS.

Actividad/Ejercicio Isocinético

La actividad isocinética se caracteriza por ser dinámica, ya que implica movimiento. A diferencia de la actividad isotónica, en la isocinética la velocidad del movimiento se mantiene constante. El término "isocinético" significa "*movimiento constante*" y se refiere a la velocidad invariable que se mantiene durante la actividad. Aunque la velocidad es constante, la resistencia que se aplica al grupo muscular a lo largo de su rango de movimiento varía (26).

Por ejemplo, al realizar una extensión de rodilla, en un ejercicio isocinético, la articulación se mueve a una velocidad uniforme. Sin embargo, para mantener esa velocidad, la resistencia debe ajustarse: en las fases donde el ejercicio isotónico sería más sencillo, la resistencia en el ejercicio isocinético será mayor, y en las fases donde el isotónico sería más desafiante, la resistencia isocinética será menor, adaptándose así a la fuerza variable del músculo.

Imagen 1. *Dinamómetro Isocinético*



Fuente: tomado de Biodex, System 4 pro

La resistencia que el músculo enfrenta varía según la fuerza que se aplique al equipo, lo que hace que el ejercicio isocinético también se conozca como "Ejercicio de Resistencia Acomodativa". Cuando un deportista realiza un esfuerzo máximo, el torque producido se ajusta según el desplazamiento articular, en función de la elongación o acortamiento muscular. El dinamómetro isocinético, que es el dispositivo utilizado para las actividades y ejercicio isocinético, mide este momento de fuerza variable y ajusta la resistencia externa para mantener la velocidad constante, teniendo en cuenta la gravedad y la fuerza muscular en movimientos verticales (13).

Los dinamómetros isocinéticos se pueden ajustar para proporcionar actividades concéntricas/concéntricas, concéntricas/excéntricas o excéntricas/excéntricas a diferentes velocidades (1).

El ejercicio o entrenamiento isocinético es fundamental en los procesos de rehabilitación posoperatoria, ayudando a los deportistas a recuperar la potencia y la resistencia necesarias para volver a su nivel deportivo anterior. Los programas de entrenamiento isocinético se enfocan en ejercicios funcionales que abarcan fuerza muscular, equilibrio, propiocepción y pliometría. Este tipo de entrenamiento ha demostrado que el entrenamiento isocinético reduce significativamente el dolor y las deficiencias funcionales en los deportistas con lesiones de ligamento cruzado anterior (45).

La dinamometría isocinética permite ajustar las velocidades de ejercicio desde 0˚/s (nivel isométrico) hasta 500˚/s, clasificándose en lentas, medias y rápidas. Es fundamental que estas velocidades coincidan con las demandas funcionales, ya que las más rápidas simulan movimientos como caminar, donde la velocidad promedio es de 230˚ a 240˚/s. sin embargo, muchas actividades superan las velocidades de entrenamiento deben seleccionarse según el tipo de ejercicio, siendo el rango para el ejercicio concéntrico mayor que para el excéntrico (13).

Tabla 1. *Clasificación de la Velocidad de Entrenamiento en Ejercicios Isocinéticos Concéntricos*

Clasificación	Velocidad Angular
Isométrico	0°/s
Lento	30°-60°/s
Medio	60°-180° o 240°/s
Rápido	180° o 240°-360°/s o más

Nota. Las velocidades de entrenamiento tienden a ser sustancialmente más lentas para el entrenamiento excéntrico, oscilando entre 30˚ y 120˚/s y la mayoría del entrenamiento excéntrico se inicia entre 60˚ y 120˚/s.

Fuente: Tomado de Colby (13)

En un estudio de Mesnard et al (45). evaluaron la fuerza preoperatoria del cuádriceps y los isquiotibiales en pacientes que habían sufrido una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) antes de su reconstrucción. Los participantes fueron clasificados en tres grupos según el tiempo transcurrido desde la lesión: menos de 3 meses, de 3 a 6 meses y de 6 a 12 meses. Se realizaron pruebas de fuerza muscular isocinética y se compararon el índice de simetría de los isquiotibiales y cuádriceps, así como las relaciones isquiotibiales/cuádriceps. Los resultados mostraron que no había diferencias significativas en edad, índice de masa corporal o rango de movimiento entre los grupos, aunque se observó una mayor proporción de mujeres en el grupo de 6 a 12 meses. Sin embargo, la relación isquiotibial/cuádriceps fue significativamente más alta en este último grupo en comparación con los otros dos, específicamente en pruebas a 240˚/s. No se encontró correlación entre el sexo y los índices de simetría o las relaciones musculares. En conclusión, los pacientes evaluados entre 6 y 12 meses después de la lesión del LCA presentaron una mejor relación isquiotibiales/cuádriceps en comparación con aquellos evaluados antes de los 6 meses, aunque no se observaron diferencias en el índice de simetría de los músculos en función del tiempo transcurrido desde la lesión.

Ejercicio de Resistencia Manual

Son técnicas activas en las que el fisioterapeuta deportivo aplica fuerza durante contracciones musculares del deportista, ya sean dinámicas (isotónicas) o estáticas (isométricas). La resistencia se aplica a lo largo del rango de movimiento permitido de la articulación y puede realizarse en planos anatómicos, patrones

diagonales como la Facilitación Neuro Propioceptiva (FNP), o en combinaciones que imitan actividades funcionales. En la rehabilitación, este tipo de ejercicio que precede a los ejercicios activos asistidos y activos forma parte de un enfoque integral para mejorar o restaurar el rendimiento muscular (13).

Tabla 2. *Ventajas y Desventajas de los Ejercicios de Resistencia Manual*

Ventajas	Desventajas
• Eficaz en las primeras etapas de la rehabilitación, cuando los músculos son débiles (fuerza de 4/5 o menos) • Facilita la transición de movimientos asistidos a aquellos con resistencia mecánica. • Ofrece una resistencia más precisa que la resistencia mecánica. • La resistencia se ajusta a lo largo del rango de movimiento, respondiendo a los esfuerzos del deportista o a áreas dolorosas. • Permite que el músculo trabaje al máximo en todo su rango de movimiento. • El fisioterapeuta deportivo puede controlar cuidadosamente el rango de movimiento de la articulación, protegiendo los tejidos en recuperación y evitando movimientos en áreas inestables. • Es útil para el fortalecimiento dinámico como estático. • La estabilización manual directa previene movimientos compensatorios. • Se puede realizar en diversas posiciones del deportista. • La aplicación de la resistencia se puede ajustar fácilmente. • Permite al fisioterapeuta deportivo interactuar directamente y monitorear continuamente el desempeño del paciente.	• La carga o cantidad de resistencia del ejercicio es subjetiva y no se puede medir ni documentar cuantitativamente, lo que dificulta establecer una línea de base o evaluar mejoras en el rendimiento muscular. • La resistencia está limitada por la fuerza del fisioterapeuta deportivo, lo que puede no ser suficiente para fortalecer grupos musculares ya fuertes. • La velocidad de movimiento es lenta a moderada, lo que puede no ser representativo de la mayoría de las actividades funcionales. • El deportista no puede realizar la mayoría de los ejercicios de forma independiente. • Requiere un considerable esfuerzo y tiempo por parte del fisioterapeuta. • No es práctico para mejorar la resistencia muscular, ya que consume demasiado tiempo

Fuente: Tomado de Colby (13)

Consideraciones en la Aplicación de Ejercicios de Resistencia Manual

Es fundamental asegurarse de que la camilla esté a una altura adecuada para facilitar una correcta mecánica corporal, lo que ayudará a prevenir tensiones en la zona lumbar. La mecánica corporal debe ir acompañada de una base de sustentación amplia, que se logra mediante el uso de los miembros inferiores del fisioterapeuta deportivo. Esto favorece la estabilidad y permite un ajuste de peso adecuado durante la aplicación de técnicas.

En cuanto a la aplicación de resistencia y estabilización, es importante ajustar la resistencia para que coincida con la capacidad muscular del paciente a lo largo de su rango de movimiento. Se debe estabilizar la articulación proximal mientras se aplica resistencia de manera distal. La resistencia debe ser aplicada y liberada de forma gradual. Durante las contracciones isométricas alternas de los músculos agonistas y antagonistas, es crucial mantener el contacto manual y evitar relajaciones bruscas entre las contracciones.

Las órdenes verbales deben estar sincronizadas con la aplicación de la resistencia para mantener un control efectivo del movimiento. Es recomendable utilizar órdenes simples y directas. Además, el fisioterapeuta deportivo debe diferenciar y emplear órdenes específicas para indicar contracciones isométricas, concéntricas y excéntricas.

Finalmente, el número de repeticiones y los intervalos de descanso deben ajustarse según la capacidad del deportista en rehabilitación y la fuerza del fisioterapeuta. Generalmente, se recomienda realizar entre 8 y 12 repeticiones, evitando la aparición de fatiga durante los períodos de descanso.

Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

Los términos “técnicas de facilitación propioceptiva” y “rehabilitación neuromuscular” se utilizaron inicialmente para describir lo que hoy conocemos como facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP). Para entender la historia de este método, es importante considerar sus orígenes, su desarrollo y la evidencia de su evolución, así como las contribuciones de profesionales a lo largo del tiempo (46).

El Dr. Herman Kabat, M.D., PhD., es el creador del método PNF. Su trayectoria es notable: obtuvo su licenciatura en ciencias en 1932 y su doctorado en neurología en 1935, ambos en instituciones de renombre. Entre 1932 y 1936, fue miembro de neurología y anatomía en la Universidad Northwestern. En 1936, se unió a la

Universidad de Minnesota como profesor de fisiología y continuó sus estudios en medicina, obteniendo su título en 1942. Durante 1942-1943, fue profesor adjunto de fisiología y neuropsiquiatría, convirtiéndose en un neurofisiólogo clínico destacado en su *época* (46).

Las técnicas de la FNP se emplean para establecer demandas específicas que aseguren una respuesta deseada. La facilitación se define como la promoción o aceleración de procesos naturales, opuesta a la inhibición, y se refiere al efecto que un impulso tiene en el tejido nervioso, facilitando una respuesta más rápida a estímulos posteriores. Por otro lado, "propioceptivo" se refiere a la recepción de estímulos dentro de los tejidos del cuerpo, mientras que "neuromuscular" se relaciona con nervios y músculos. En conjunto, las técnicas de FNP se pueden definir como métodos que promueven la respuesta del sistema neuromuscular mediante la estimulación de los propioceptores (46).

La filosofía de la FNP se basa en varios principios fundamentales:

1. **Enfoque integral**: El tratamiento se dirige al individuo en su totalidad, no solo a un problema específico o a una parte del cuerpo.
2. **Movilización de reservas**: El terapeuta se enfoca en activar el potencial no explotado de cada paciente.
3. **Perspectiva positiva**: El tratamiento se centra en lo que el paciente puede lograr, tanto física como psicológicamente.
4. **Máximo funcionamiento**: El objetivo es ayudar a los pacientes a alcanzar su nivel más alto de funcionamiento.
5. **Aprendizaje y control motor**: Para lograr este nivel óptimo, se integran principios de control y aprendizaje motores, abordando el tratamiento a nivel de estructuras corporales, actividades y participación (según la Clasificación Internacional del Funcionamiento de la OMS).

Además, el movimiento es fundamental para la interacción con el entorno, y los procesos sensoriales y cognitivos influyen en la salida motora. La comunicación y el intercambio de información son esenciales en la terapia, especialmente en las etapas iniciales del aprendizaje motor y en la rehabilitación, donde el terapeuta proporciona información externa crucial para el paciente que ha perdido su capacidad de confiar en su información interna (47).

Los principios neurofisiológicos fundamentales en los que se basa la FNP fueron desarrollados por Sir Charles Sherrington (47). Sus definiciones clave incluyen:

1. **Posdescarga:** El efecto de un estímulo persiste incluso después de que este ha cesado. A mayor fuerza y duración del estímulo, mayor será la posdescarga, lo que explica la sensación de mayor potencia tras una contracción estática.
2. **Suma temporal**: Se refiere a la acumulación de estímulos débiles (subliminales) que, al sucederse, generan excitación.
3. **Suma espacial**: Estímulos débiles aplicados simultáneamente en diferentes partes del cuerpo se refuerzan entre sí, provocando excitación. La combinación de suma temporal y espacial puede intensificar la actividad.
4. **Irradiación**: Es la propagación y aumento de la fuerza de una respuesta, que ocurre al incrementar el número o la intensidad de los estímulos, pudiendo resultar en excitación o inhibición.
5. **Inducción sucesiva**: La estimulación de los músculos antagonistas provoca un aumento en la excitación de los músculos agonistas, lo que se utiliza en técnicas que invierten la acción de los agonistas.
6. **Inervación recíproca**: La contracción de un músculo se acompaña de la inhibición de su antagonista, lo cual es esencial para el movimiento coordinado y se aplica en técnicas de relajación.

La FNP se describe como un enfoque de rehabilitación holístico que se centra en el aprendizaje motor. Se distingue por la aplicación de principios y procedimientos de facilitación específicos, junto con técnicas diseñadas para alcanzar objetivos de tratamiento personalizados (48).

Los procedimientos fundamentales del FNP, que incluyen patrones de movimiento rotacionales y diversas técnicas como estabilización rítmica, inversiones dinámicas, combinaciones isotónicas, contracciones repetidas y contracción-relajación, se utilizan para mejorar la flexibilidad, la fuerza muscular y el movimiento. El enfoque del FNP se centra en optimizar la coordinación articular, la fuerza, el control del movimiento, la estabilidad y la movilidad, con el objetivo principal de alcanzar el máximo nivel funcional posible (49).

Los mecanismos teóricos de la FNP comprenden la *Inhibición Autógena* que reduce la excitabilidad del músculo agonista durante el estiramiento o contracción máxima a través de los órganos tendinosos de Golgi; la *Inhibición Reciproca* disminuye la actividad del músculo antagonista al contraer el agonista; y la *Relajación del Estrés* implica la aplicación de tensión continua en los músculos y tendones asociados (50).

Técnicas de la FNP

Iniciación Rítmica: Es un movimiento rítmico en una sola dirección de una extremidad o del cuerpo, que inicia con un movimiento pasivo y avanza hacia un movimiento activo que incluye resistencia.

Los *objetivos* de este enfoque son diversos y se centran en facilitar el proceso de movimiento. En primer lugar, se busca ayudar a los pacientes a iniciar el movimiento de manera efectiva. Además, se pretende mejorar la coordinación y la percepción del movimiento, lo que es fundamental para un desempeño adecuado. Otro objetivo es normalizar la velocidad del movimiento, ya sea incrementándola o reduciéndola según sea necesario. También se incluye la enseñanza de los patrones de movimiento correctos, lo que contribuye al aprendizaje motor. Por último, se busca normalizar la tensión muscular, lo que permite al paciente alcanzar un estado de relajación.

Las *indicaciones* para este enfoque incluyen diversas dificultades que pueden experimentar los pacientes. En primer lugar, se considera a aquellos que tienen problemas para iniciar el movimiento. También se atiende a quienes presentan un movimiento que es excesivamente lento o, por el contrario, demasiado rápido. Además, se abordan los casos de movimiento descoordinado o disrítmico, como la ataxia y la rigidez producto de algún traumatismo en la cabeza. Otro aspecto importante es la necesidad de regular o normalizar el tono muscular, así como la tensión general que pueda estar presente en el paciente.

En la *Ejecución*, el fisioterapeuta deportivo inicia el proceso moviendo al deportista de manera pasiva a través del rango de movimiento, utilizando la velocidad de las órdenes verbales para establecer el ritmo. El objetivo del movimiento se puede comunicar al deportista mediante estímulos verbales, visuales y/o táctiles, permitiendo que el deportista asuma un papel activo desde el punto de vista cognitivo durante la fase de movimiento pasivo.

A continuación, se le solicita al deportista que comience a colaborar, trabajando activamente en la dirección deseada, mientras que el movimiento de retorno es realizado por el fisioterapeuta deportivo. Este último resiste el movimiento activo, manteniendo el ritmo con las órdenes verbales. Para concluir, el deportista debe ser capaz de realizar el movimiento de forma independiente.

Combinación de Isotónicos: Se trata de contracciones combinadas que incluyen movimientos concéntricos, excéntricos y estabilizadores de un grupo de músculos (agonistas) sin permitir la relajación. En el tratamiento, se debe iniciar en el punto donde el deportista tenga mayor fuerza o mejor coordinación.

Los *objetivos* de esta técnica incluyen el desarrollo del control activo del movimiento, la mejora de la coordinación y el aumento del rango de movimiento activo. Además, se busca fortalecer los músculos involucrados y proporcionar un entrenamiento funcional que se enfoque en el control excéntrico del movimiento.

Las *indicaciones* para aplicar esta técnica incluyen la disminución del control excéntrico, la falta de coordinación o la incapacidad para moverse en la dirección deseada. También se considera en casos de reducción del rango de movimiento activo y en situaciones donde hay una falta de movimiento activo dentro del rango de movimiento disponible.

En la *Ejecución*, el fisioterapeuta deportivo resiste activamente el movimiento del deportista a lo largo de un rango de movimiento deseado (contracción concéntrica). Al final del movimiento, el fisioterapeuta le indica al deportista que mantenga esa posición (contracción estabilizadora). Una vez que se logra la estabilidad, el fisioterapeuta le indica al deportista que permita que la parte se mueva lentamente de regreso a la posición inicial (contracción excéntrica). No hay relajación entre los diferentes tipos de actividades musculares y las manos del fisioterapeuta permanecen sobre la misma superficie, controlando con una contracción excéntrica de los músculos extensores del tronco. “Ahora déjame empujarte hacia adelante, pero lentamente”.

Estabilización Rítmica: Consiste en contracciones isométricas alternadas que se realizan contra resistencia, sin buscar un movimiento intencional.

Los objetivos de esta técnica son diversos e incluyen el aumento tanto del rango de movimiento activo como pasivo. Además, se busca incrementar la fuerza del deportista, así como mejorar su estabilidad y equilibrio. Por último, también se pretende reducir el dolor que pueda experimentar durante el proceso de rehabilitación o entrenamiento.

La técnica de estabilización rítmica está *indicada* para aquellos que presentan un rango de movimiento limitado y que experimentan dolor, especialmente al intentar realizar movimientos. También es adecuada para personas con inestabilidad articular, debilidad en el grupo muscular antagonista o disminución del equilibrio.

Sin embargo, es importante tener en cuenta ciertas *contraindicaciones*. Esta técnica puede resultar demasiado difícil para pacientes con afectación cerebelosa. Además, no se recomienda su aplicación en aquellos pacientes que

no pueden seguir instrucciones debido a su edad, dificultades en el lenguaje o disfunciones cerebrales.

En la *Ejecución*, El fisioterapeuta deportivo resiste una contracción isométrica del grupo muscular agonista. El deportista mantiene la posición de la parte afectada sin intentar moverla. La resistencia se incrementa lentamente a medida que el deportista desarrolla una fuerza equivalente.

Cuando el deportista responde completamente, el fisioterapeuta comienza a ajustar la resistencia para que se oponga al movimiento antagonista. Ni el fisioterapeuta ni el deportista se relajan mientras se realiza este cambio en la resistencia. La nueva resistencia se aumenta de manera gradual. Una vez que el deportista vuelve a responder por completo, el fisioterapeuta inicia nuevamente el ajuste de la resistencia para oponerse al movimiento antagonista.

Se puede utilizar tracción o aproximación según lo indique la condición del deportista. Las inversiones se repiten con la frecuencia necesaria. Se debe emplear una orden estática, como "Quédese ahí" o "No intente moverse".

Contraer-Relajar: Para los autores, los músculos antagonistas son restrictivos o contraídos, mientras que los agonistas son músculos opuestos.

Contraer-Relajar/Tratamiento Directo: Esta técnica consiste en realizar una contracción isotónica resistida o una contracción isométrica de los músculos antagonistas (restrictivos), seguida de una fase de relajación y un movimiento hacia un nuevo rango de movimiento ampliado.

El *objetivo* de esta técnica es aumentar el rango de movimiento pasivo.

Esta técnica está *indicada* para aquellos deportistas que presentan una disminución del rango de movimiento pasivo, producto de una lesión.

Para su *ejecución*, el fisioterapeuta deportivo y el deportista mueven la articulación o segmento corporal hasta alcanzar el final del rango de movimiento pasivo. Se prefiere que el movimiento sea activo o que se realice contra una ligera resistencia, debido a la influencia positiva de la inervación recíproca. El fisioterapeuta le solicita al deportista que realice una contracción fuerte del músculo o patrón restrictivo (antagonistas), y se sugiere que esta contracción se mantenga durante al menos 5 a 8 segundos.

Una contracción máxima en la posición más elongada de la cadena muscular puede provocar un cambio estructural en el complejo actina-miosina. Se permite un movimiento mínimo para que el fisioterapeuta esté seguro de que todos los músculos deseados, especialmente los rotadores, están contrayéndose

adecuadamente. Después de un tiempo suficiente, el fisioterapeuta indica al deportista que se relaje, y ambos se toman un momento para relajarse.

A continuación, la articulación o parte del cuerpo se reposiciona, ya sea de manera activa por el deportista o pasivamente por el fisioterapeuta, hasta el nuevo límite del rango pasivo. Se prefiere que este movimiento sea activo y puede incluir resistencia. La técnica se repite hasta que no se logre ganar más rango. Finalmente, se realiza un ejercicio activo con resistencia de los músculos agonistas y antagonistas en el nuevo rango de movimiento, lo que concluye la actividad.

Contraer-Relajar/Tratamiento Indirecto: esta técnica se basa en la contracción de los músculos agonistas en lugar de los músculos que presentan acortamiento.

Se *indica* indirectamente cuando la contracción de los músculos restrictivos resulta demasiado dolorosa o débil para generar una contracción efectiva.

Sostener-Relajar: Los autores denominan "antagonistas" a los músculos restrictivos o contraídos, mientras que los patrones o músculos opuestos son referidos como "agonistas".

Sostener-Relajar/Tratamiento Directo: Se trata de una contracción isométrica resistida de los músculos antagonistas (músculos acortados), seguida de un periodo de relajación.

Los *objetivos* de esta técnica se basan en aumentar el rango de movimiento pasivo y en disminuir el dolor.

Las *indicaciones* para la contracción isométrica resistida incluyen la disminución del rango pasivo de movimiento y la presencia de dolor. Esta técnica también es apropiada si el paciente no tolera el control directo del terapeuta. Además, se puede utilizar cuando las contracciones isotónicas del paciente son demasiado fuertes para que el terapeuta las controle adecuadamente. Por otro lado, una contraindicación importante es que el paciente no pueda realizar una contracción isométrica, lo que impediría la aplicación efectiva de esta técnica.

Para la *Ejecución*, con la intención de aumentar el rango de movimiento, el fisioterapeuta deportivo o el deportista mueve la articulación o el segmento corporal hasta alcanzar el final del rango de movimiento pasivo o sin dolor, siendo preferible el movimiento activo. El fisioterapeuta deportivo puede ofrecer resistencia siempre que esto no cause dolor.

Al llegar al límite del rango posible, el fisioterapeuta deportivo solicita al deportista que realice una contracción isométrica del músculo o patrón restrictivo (antagonistas), con un enfoque en la rotación. Los autores sugieren que esta contracción debe mantenerse durante al menos 5 a 8 segundos. La resistencia se incrementa de manera gradual, y ni el deportista ni el fisioterapeuta deportivo deben intentar realizar ningún movimiento durante este tiempo.

Después de mantener la contracción el tiempo necesario, el fisioterapeuta deportivo le pide al deportista que se relaje, y ambos se relajan progresivamente. Luego, la articulación o parte del cuerpo se reposiciona de forma activa o pasiva hasta el nuevo límite de rango, siendo preferible el movimiento activo si no causa dolor. Se puede ofrecer resistencia al movimiento siempre que no genere dolor. Finalmente, se repiten todos los pasos en el nuevo límite de rango.

Para disminuir el dolor, el deportista se coloca en una posición cómoda. El fisioterapeuta deportivo ofrece resistencia a una contracción isométrica de los músculos que afectan el segmento que presenta dolor.

Sostener-Relajar/Tratamiento Indirecto: En el tratamiento indirecto mediante la técnica de sostener-relajar, se aplica resistencia a los músculos sinérgicos de aquellos que están acortados o que presentan dolor, evitando así los músculos que duelen o el movimiento que causa dolor. Si esta técnica continúa provocando dolor, se ofrece resistencia a los músculos sinérgicos del patrón opuesto.

Esta técnica está i*ndicada* cuando la contracción de los músculos restringidos es demasiado dolorosa.

En la *ejecución*, el deportista se posiciona de manera cómoda. El fisioterapeuta deportivo ofrece resistencia a las contracciones isométricas de los músculos sinérgicos que están alejados del área dolorosa. La resistencia se incremente de forma gradual y se mantiene en un nivel que no causa dolor. Durante la fase de relajación, la resistencia se reduce lentamente.

Patrones de la FNP

Los patrones de FNP consisten en movimientos multiarticulares, multiplanares, diagonales y rotacionales que involucran las extremidades, el tronco y el cuello. Durante estos movimientos, varios grupos musculares se contraen al mismo tiempo. Se identifican dos pares de patrones diagonales para las extremidades superiores e inferiores: diagonal 1 (D1) y diagonal 2 (D2), que pueden ejecutarse en direcciones de flexión o extensión, denominándose D1Flexión, D1Extensión, D2Flexión y D2Extensión. Aunque abarcan el movimiento en todas las

articulaciones de la extremidad, se nombran según la posición del hombro o la cadera al finalizar el patrón. Cada patrón combina flexión o extensión con abducción o aducción, así como rotación externa o interna. Los patrones pueden realizarse de manera unilateral o bilateral, siendo estos últimos simétricos, asimétricos o recíprocos. También hay patrones específicos para la escápula y la pelvis, así como técnicas que integran movimientos diagonales en actividades funcionales como rodar, gatear y caminar. Existen numerosos recursos que detallan y muestran las diversas variaciones y aplicaciones de las técnicas de FNP (13).

Tabla 3. *Patrones de la FNP*

Miembros Superiores	**Hombro**	**Antebrazo/Muñeca**
D1 Flexión	Flexión, aducción y rotación externa	Supinación, flexión de muñeca y dedos y desviación radial
D1 Extensión	Extensión, Abducción y rotación interna	Pronación, extensión de muñeca y dedos, y desviación ulnar
D2 Flexión	Flexión, Abducción y rotación externa	Supinación, extensión de muñeca y dedos, y desviación radial
D2 Extensión	Extensión, aducción y rotación interna	Pronación, extensión de muñeca y dedos, y desviación ulnar
Miembros Inferiores	**Cadera**	**Tobillo/Pie**
D1 Flexión	Flexión, aducción y rotación externa	Dorsiflexión, inversión y extensión de dedos
D1 Extensión	Extensión, Abducción y rotación interna	Plantiflexión, eversión y flexión de dedos
D2 Flexión	Flexión, Abducción y rotación externa	Dorsiflexión, inversión y extensión de dedos
D2 Extensión	Extensión, aducción y rotación interna	Plantiflexión, eversión y flexión de dedos

Fuente: tomado y modificado de Dunleavy & Slowik (9)

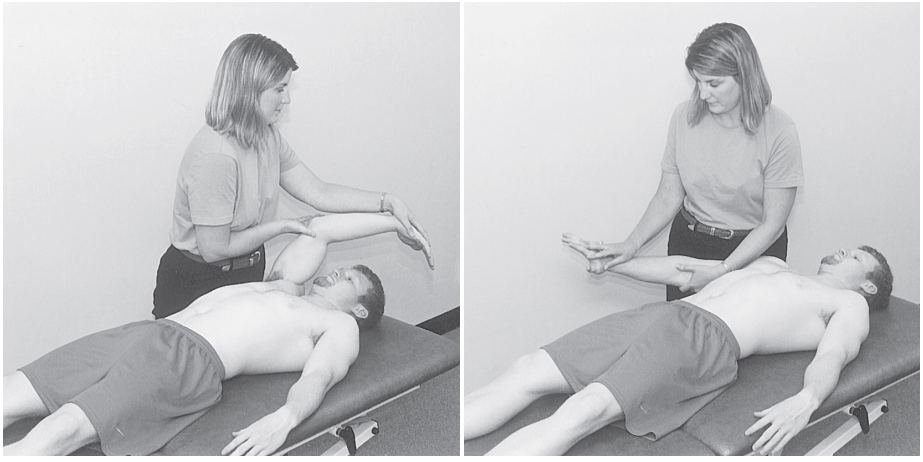
A continuación, se ilustran los patrones de la FNP:

Imagen 2. *D1 Flexión de Miembro Superior*



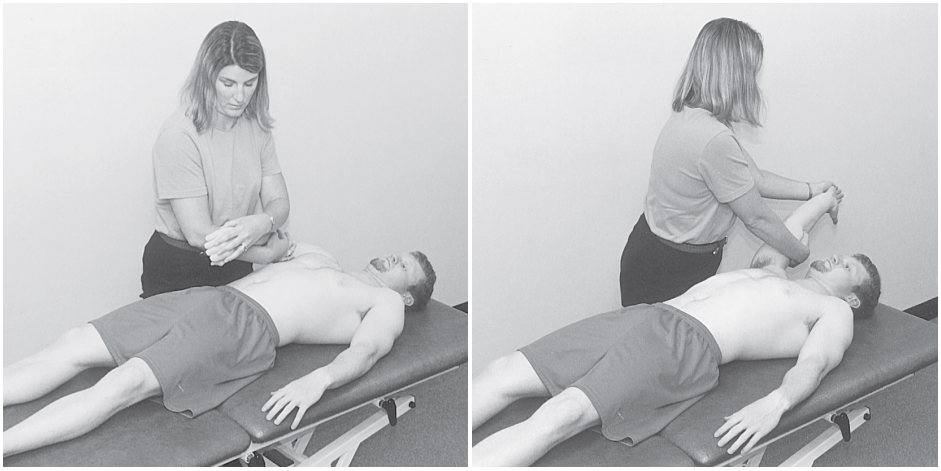
Nota. El patrón D1 de flexión del miembro superior se origina a partir del patrón D1 de extensión. Esta secuencia es fundamental para asegurar una correcta activación muscular y un rango de movimiento óptimo en la extremidad superior.

Imagen 3. *D1 Extensión de Miembro Superior*



Nota. El patrón D1 de extensión del miembro superior se inicia a partir del patrón D1 de flexión.

Imagen 4. *D2 Flexión de Miembro Superior*



Nota. El patrón D2 de flexión del miembro superior se origina a partir del patrón D2 de extensión.

Imagen 5. *D2 Extensión de Miembro Superior*



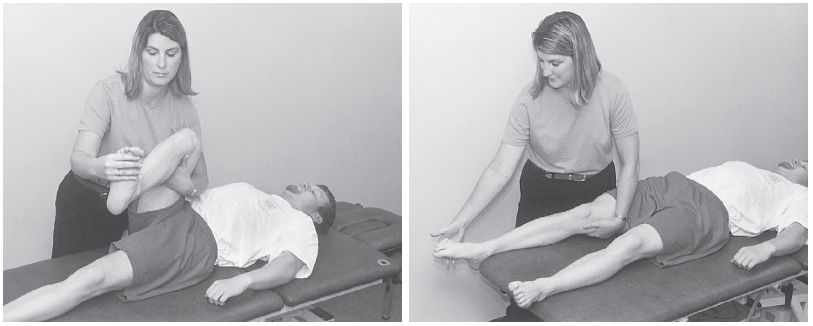
Nota. El patrón D2 de extensión del miembro superior se desarrolla a partir del patrón D2 de flexión

Imagen 6. *D1 Flexión de Miembro Inferior*



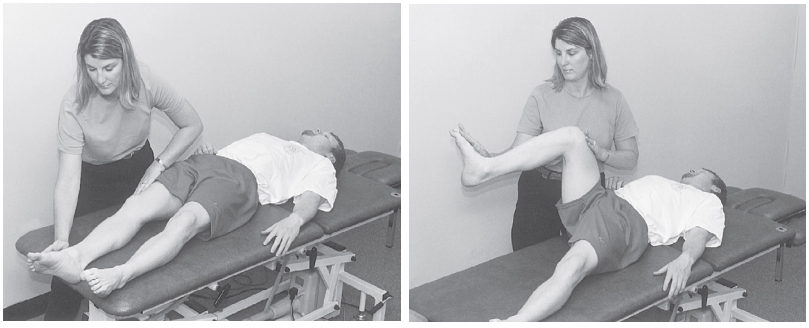
Nota. El patrón D1 de flexión del miembro inferior se origina a partir del patrón D1 de extensión

Imagen 7. *D1 Extensión de Miembro Inferior*



Nota. El patrón D1 de extensión del miembro inferior se inicia a partir del patrón D1 de flexión.

Imagen 8. *D2 Flexión de Miembro Inferior*



Nota. El patrón D2 de flexión del miembro inferior se origina a partir del patrón D2 de extensión.

Imagen 9. *D2 Extensión de Miembro Inferior*



Nota. El patrón D2 de extensión del miembro inferior se inicia a partir del patrón D2 de flexión.

Cadena Cinética (Abierta/Cerrada)

El concepto de cadena cinética se introdujo en los años 70 por ingenieros mecánicos, quienes inicialmente se referían a un sistema de enlace. En analogía con las articulaciones del cuerpo humano, estas actúan como eslabones que conectan segmentos rígidos. En este sistema, si ambos extremos están fijos a un marco, no hay movimiento en ninguno de los extremos. En este sistema cerrado, cada segmento en movimiento recibe y transfiere fuerzas a los segmentos adyacentes, lo que influye en el movimiento general (51).

Figura 3. *Sistema Cerrado en el sistema de cadena cinética*

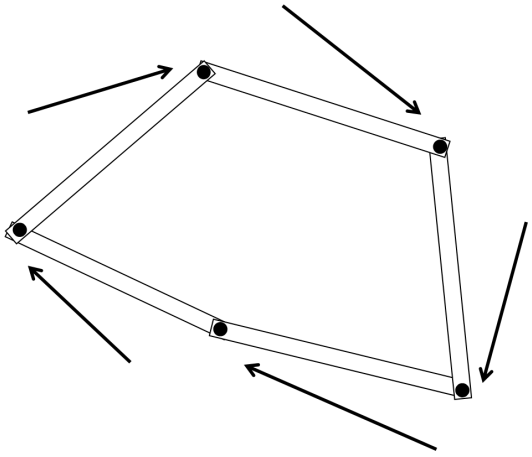
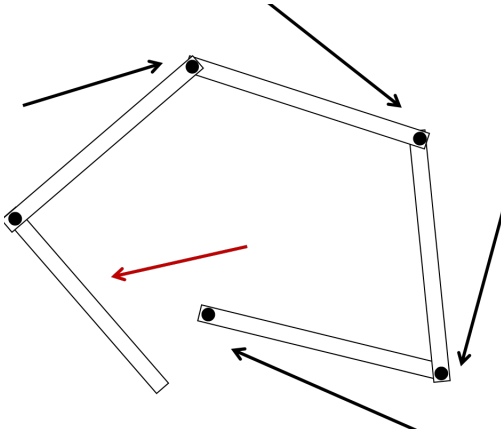


Figura 4. *Sistema Abierto en el sistema de cadena cinética*

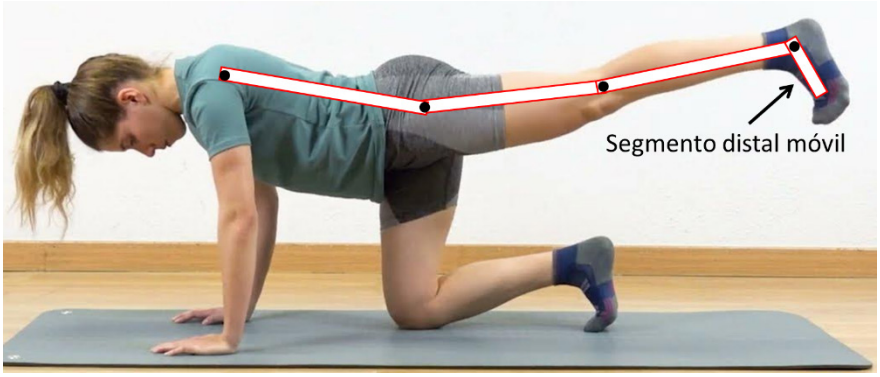


Una cadena cinética es un conjunto de segmentos rígidos conectados por articulaciones móviles, representando una descripción mecánica del cuerpo (26). Una cadena se divide en dos tipos: Cadena Cinética Abierta (CCA) y Cadena Cinética Cerrada (CCC). En la CCA, las articulaciones periféricas de la extremidad distal pueden moverse libremente sin sostener peso corporal, mientras que, en las CCC, los segmentos distales se apoyan en una superficie sólida y hay soporte del peso corporal (52, 53). En otras palabras, en la CCA las articulaciones están dispuestas secuencialmente en donde el segmento distal puede moverse libremente y la CCC implica que el segmento distal se somete a una resistencia externa significativa, lo que restringe su movimiento (13).

Imagen 10. *Representación de una Cadena Cinética Cerrada*



Imagen 11. *Representación de una Cadena Cinética Abierta*



Los ejercicios (tanto para la prevención de lesiones como para la rehabilitación) basados en CCC proporcionan más realimentación propioceptiva, mayor activación muscular, mejor sincronización de las unidades motoras, estabilidad articular frente a fuerzas de compresión y simulan patrones de movimiento funcionales, adicionalmente, los ejercicios de CCC activan los músculos antagonistas en varias articulaciones, lo que previene el aislamiento o el enfoque en un solo grupo muscular y son ejercicios aplicados frecuentemente en miembros inferiores, considerados más apropiados ya que las posiciones estáticas de los pies son comunes en muchas actividades (54) en contraste con los ejercicios de CCA (55). En términos generales, las actividades o ejercicios de CCA tienden a generar movimientos de alta velocidad, mientras que las CCC son más funcionales y ejercen menores fuerzas de corte sobre las articulaciones, lo que las hace más seguras para incluir al inicio de un programa de ejercicios terapéuticos (26).

Las actividades de CCA y de CCC establecen una interrelación entre las articulaciones dentro de una cadena. Este aspecto es importante en el ejercicio terapéutico, ya que ignorar la influencia de otras articulaciones puede dificultar el éxito de la rehabilitación. Es decir, una articulación no trabaja de manera aislada, su desempeño afecta otras articulaciones de la cadena. En este sentido, las tensiones anormales en una articulación lesionada pueden transmitirse a otras estructuras, las cuales pueden adsorber estas tensiones que, al no ser toleradas, pueden generar disfunciones adicionales (26). Por ejemplo, un deportista que presenta debilidad de los músculos de la cadera no podrá mantener el miembro inferior en la posición adecuada durante un gesto, debido a que podría experimentar alguna disfunción o dolor en la rodilla,

resultado de la tensión adicional que es provocada por fuerzas anormales que se originan desde la cadera.

En el sistema de cadena cinética, la función de un músculo varía según el estado del segmento distal, es decir, si está libre o fijo. Para dar un ejemplo, en una cadena cinética abierta, el grupo muscular cuádriceps genera extensión de rodilla, mientras que, en una cadena cinética cerrada, este grupo muscular desacelerará la flexión de rodilla al descender escaleras.

Características

El fisioterapeuta deportivo debe basar la elección entre ejercicios de CCA y CCC en los objetivos que quiere alcanzar con el deportista, haciendo un análisis de los beneficios y limitaciones de cada tipo de ejercicio. Teniendo en cuenta que las actividades funcionales conciertan ambos tipos de movimientos, es recomendable incluir ejercicios específicos de CCA y CCC en los programas de prevención y rehabilitación. A continuación, se resumen algunas características de cada tipo de cadena cinética:

- Los ejercicios de CCA son más eficaces para mejorar el rendimiento de músculos individuales o grupos musculares en comparación con los de CCC. En los ejercicios de CCC, hay un mayor riesgo de que se utilicen movimientos compensatorios que oculten las debilidades de fuerza de músculos específicos (13).
- En los ejercicios de resistencia de CCA, se logra un mayor control del movimiento al involucrar una sola articulación, a diferencia de los ejercicios de CCC que implican múltiples articulaciones. En la CCA, la estabilización se realiza generalmente de manera externa, por ejemplo, a través de la asistencia de un fisioterapeuta. En contraste, en los ejercicios de CCC, el deportista utiliza su propia musculatura para estabilizar las articulaciones cercanas a la articulación objetivo. Esta capacidad de aislar el movimiento en la articulación específica es especialmente beneficiosa en las primeras etapas de la rehabilitación (13).
- Casi todas las contracciones musculares generan un componente compresivo que aproxima las superficies articulares, proporcionando estabilidad tanto en ejercicios de CCA como en CCC. La carga de peso adicional también favorece esta aproximación articular, lo que se asocia con menores fuerzas de cizallamiento en la articulación en movimiento. Por ejemplo, en la rodilla, se observa una reducción en la

traslación tibiofemoral durante actividades de carga. Se considera que la aproximación articular resultante de la carga axial y de peso en ejercicios de CCC aumenta la congruencia articular, lo que contribuye a una mayor estabilidad durante el ejercicio (13).

- La coactivación y estabilización dinámica se asocian comúnmente con ejercicios de CCC, que se realizan bajo carga de peso. Estos ejercicios estimulan los mecanorreceptores en las articulaciones y músculos, promoviendo la co-contracción de los músculos agonistas y antagonistas, lo que mejora la estabilidad dinámica. Por ejemplo, durante una sentadilla, el cuádriceps y los isquiotibiales se activan simultáneamente para controlar el movimiento de la rodilla y la cadera, lo que favorece la estabilidad de la rodilla (13).

- La propiocepción y la cinestesia son fundamentales para el aprendizaje motor y el control neuromuscular, especialmente en las etapas iniciales del entrenamiento funcional. Tras una lesión en tejidos blandos o articulaciones, estas capacidades pueden verse afectadas, lo que compromete el control neuromuscular. Por ello, restablecer la capacidad de utilizar la información sensorial de la zona lesionada es crucial en la rehabilitación (13).

- Investigaciones han demostrado que la propiocepción y la cinestesia mejoran tras la rehabilitación de la rodilla después de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Se considera que el entrenamiento de CCC proporciona una retroalimentación sensorial más efectiva que el de CCA, ya que involucra múltiples grupos musculares y articulaciones en movimiento. Esto activa más receptores sensoriales en los músculos y estructuras articulares, y el componente de carga de peso en estos ejercicios favorece la estimulación de mecanorreceptores, mejorando así la información sensorial necesaria para un control adecuado del movimiento (13).

Tabla 4. *Características de las Cadenas Cinéticas: Abierta vs Cerrada*

Cadena Cinética Abierta
• El segmento distal se desplaza en el espacio. • El movimiento es independiente de las articulaciones; no se observa un movimiento predecible en las articulaciones cercanas. • El movimiento se limita a los segmentos corporales distales a la articulación que está en movimiento. • La activación muscular se concentra principalmente en el músculo principal responsable del movimiento y se restringe a los músculos que cruzan la articulación en cuestión. • Generalmente, se lleva a cabo en posiciones sin carga. • Se aplica resistencia al segmento distal que se está moviendo. • Es común que haya una carga rotacional externa en las articulaciones. • A menudo se necesita estabilización externa, ya sea manual o mediante el uso de equipos.
Cadena Cinética Cerrada
• El segmento distal se mantiene fijo o en contacto con la superficie de apoyo. • Los movimientos articulares son interdependientes, lo que genera patrones de movimiento relativamente predecibles en las articulaciones cercanas. • El movimiento de los segmentos corporales puede ocurrir tanto distal como proximal a la articulación que está en movimiento. • La activación muscular involucra a múltiples grupos musculares, tanto en la parte distal como en la proximal de la articulación en movimiento. • Generalmente, aunque no siempre, se realiza en posiciones que soportan peso. • Se aplica resistencia de manera simultánea a varios segmentos móviles. • Es común que haya una carga axial en las articulaciones debido al peso corporal. • La estabilización interna se logra a través de la acción muscular, la compresión y la congruencia de las articulaciones, así como el control postural.

Fuente: tomado y modificado de Colby (13)

El fisioterapeuta deportivo debe considerar aspectos importantes al implementar estrategias terapéuticas, como en el caso de las CCC y las CCA. A continuación, se presentan algunas consideraciones clave a tener en cuenta:

1. **Principio de Sobrecarga:** El entrenamiento de resistencia es una herramienta efectiva para aumentar el tamaño muscular, la fuerza, la resistencia y la potencia, así como para lograr otros beneficios. En la intención de asegurar que estas adaptaciones se mantengan, es esencial que un programa de entrenamiento incluya algún tipo de progresión en el estímulo. Esto se conoce como el principio de sobrecarga e implica ajustar el estímulo para alinearlo con la capacidad de adaptación del cuerpo. Actualmente la sobrecarga progresiva se implementa a través

de diversos esquemas de progresión y modelos de periodización que, generalmente, incluyen manipulaciones de la carga (56). La sobrecarga se puede ajustar mediante tres variables clave del ejercicio: frecuencia, intensidad y duración. Por ejemplo, aumentar el número de sesiones de entrenamiento por semana, incrementar el peso levantado o aumentar el número de repeticiones son formas efectivas de aplicar este principio. Además, se puede utilizar el enfoque FITT (Frecuencia, Intensidad, Tiempo y Tipo) para modificar la sobrecarga, considerando también el tipo de ejercicio realizado, ya sea aeróbico, de fuerza, resistencia muscular o flexibilidad (57).

2. **Principio SAID:** el principio de "Adaptaciones Específicas a las Demandas Impuestas" denominado SAID por sus siglas en inglés, es fundamental en el acondicionamiento y entrenamiento físico, ya que establece que el cuerpo se adapta de manera específica a las tensiones y sobrecargas a las que se somete. Por ejemplo, si una persona realiza ejercicios de fuerza para una articulación en un rango de movimiento limitado, los músculos involucrados mejorarán principalmente en ese rango específico, con escasas ganancias en otros aspectos de la aptitud física, como la flexibilidad o la resistencia cardiorrespiratoria (57). Es crucial diseñar programas de ejercicio que se alineen con los objetivos específicos de adaptación deseados, ya que la adaptación puede ser positiva o negativa. Demandas inapropiadas o excesivas pueden causar lesiones, mientras que demandas insuficientes pueden resultar en mejoras mínimas (27). Por lo tanto, al entrenar a un cliente, es esencial que los ejercicios estén directamente relacionados con sus objetivos, como mejorar la capacidad para correr largas distancias, lo que requiere un programa centrado en la carrera (58).

3. **Principio de Especificidad:** La especificidad del ejercicio está íntimamente relacionada con el principio SAID, que indica que las adaptaciones fisiológicas y metabólicas del cuerpo son específicas al tipo de ejercicio realizado y a los grupos musculares involucrados. Los componentes de la aptitud física, como la fuerza, la resistencia y la flexibilidad, son particulares de cada zona corporal y grupo muscular, lo que implica que, al diseñar un programa de ejercicios, es fundamental considerar las necesidades individuales de cada persona. Esto a menudo requiere un análisis de la técnica y habilidades del individuo para seleccionar ejercicios adecuados que satisfagan sus objetivos específicos. Los objetivos del programa deben definirse en función de las áreas del cuerpo que se desean mejorar y de

las necesidades de aptitud física, que pueden incluir fuerza, resistencia, potencia, agilidad, equilibrio, coordinación, flexibilidad, resistencia cardiorrespiratoria y composición corporal. Una vez establecidos los objetivos, se puede prescribir un régimen que contemple variables como la frecuencia, intensidad y duración, asegurando que se aborden tanto el cuerpo completo como áreas específicas. Además, es crucial realizar observaciones y análisis regulares del movimiento para garantizar la correcta técnica y hacer ajustes cuando sea necesario (57, 59)

Biomecánica de los Ejercicios de Cadena Cinética Abierta y Cerrada en las Extremidades Inferiores

Los ejercicios de CCA y CCC afectan de manera diferente las articulaciones de la extremidad inferior. Las actividades como caminar o cambiar de dirección requieren un movimiento articular coordinado y una activación muscular precisa. Factores como la absorción de impactos, la flexibilidad del pie, la estabilización y el movimiento en múltiples planos en las extremidades de los miembros inferiores, son importantes para un adecuado funcionamiento.

- **Pie y Tobillo:** Durante la marcha, el pie cumple dos funciones principales: amortiguar el impacto al aterrizar y actuar como una palanca rígida al impulsarse. En el impacto del talón, el pie se pronuncia, lo que permite la absorción de impactos y la adaptación a superficies irregulares. Esto conlleva una rotación interna de la tibia y una ligera flexión de la rodilla. En una CCA, el pie se mueve en dorsiflexión y abducción, mientras que, en una CCC, la supinación implica una inversión del calcáneo y una extensión de la rodilla (51).
- **Rodilla:** Entender las fuerzas en la articulación de la rodilla es esencial para los fisioterapeutas deportivos. De acuerdo con Palmitier, existen dos fuerzas claves: una fuerza de cizallamiento posterior que puede desplazar la tibia hacia adelante si no es controlada por el ligamento cruzado anterior y una fuerza de compresión a lo largo de la tibia (52). Los ejercicios de pesas aumentan esta compresión, mejorando la estabilidad articular. En ejercicios de CCA, aplicar resistencia a la tibia distal maximiza las fuerzas de cizallamiento y compresión, mientras que hacerlo más proximalmente las reduce. La co-contracción de los isquiotibiales ayuda a estabilizar la rodilla y contrarrestar el desplazamiento anterior de la tibia (51).

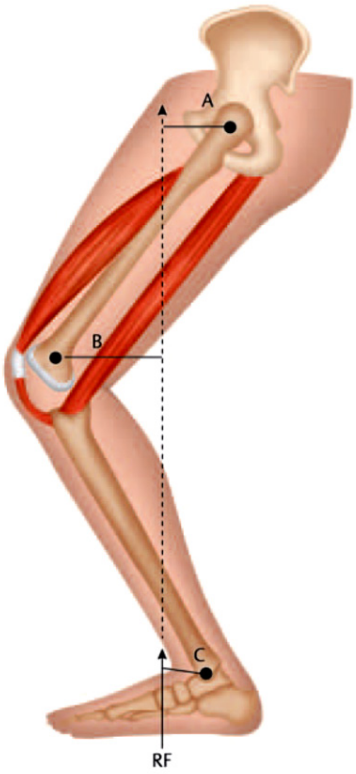
Imagen 12. *Modelo matemático que muestra los vectores de fuerza de corte y compresión*



Nota. C=Compresión, S=Cizallamiento, RF=Fuerza Resistiva. *Fuente*: *Tomado y modificado de Prentice* (51)

Los ejercicios de CCC promueven la contracción de los isquiotibiales, estabilizando la cadera y la rodilla. La flexión del tronco puede aumentar la tensión en los isquiotibiales, disminuyendo el momento de flexión de la rodilla y la fuerza de cizallamiento. Al aplicar resistencia en el tobillo, se genera un momento de extensión de la rodilla que neutraliza la fuerza de cizallamiento anterior. En contraste, los ejercicios de CCA, como las extensiones de piernas, generan un momento de flexión en la rodilla, aumentando la fuerza de cizallamiento. Se ha demostrado que las fuerzas de cizallamiento son mayores en ejercicios de cadena cinética abierta que en los cerrados, y que la co-contracción en estos últimos reduce el desplazamiento tibial anterior durante la flexión de la rodilla (51).

Imagen 13. *Fuerzas en Cadena Cinética Cerrada*



Nota. Los ejercicios de cadena cinética cerrada provocan la contracción de los isquiotibiales al generar un momento de flexión en (A) la cadera, (B) la rodilla y (C) el tobillo. RF se refiere a la fuerza resistiva. *Fuente: tomado y modificado de Prentice* (51)

Patelofemoral: La articulación patelofemoral se ve afectada de manera diferente por los ejercicios de CCA y CCC. En los ejercicios de CCA, como la extensión de rodilla, el momento de flexión aumenta al extender la rodilla desde 90 grados hasta la extensión completa, lo que incrementa la tensión en el cuádriceps y el tendón rotuliano. Esto resulta en un aumento de las fuerzas de reacción en la articulación patelofemoral, alcanzando su máximo a los 36 grados de flexión. A medida que la rodilla se extiende completamente, el área de contacto entre la rótula y el fémur disminuye, aumentando la tensión de contacto por unidad de área. Por otro lado, en los ejercicios de CCC, el momento de flexión también aumenta al flexionar la rodilla, lo que eleva la tensión en el cuádriceps y el tendón rotuliano, y, por

ende, las fuerzas de reacción en la articulación patelofemoral. Sin embargo, en este caso, la rótula mantiene un área de contacto más amplia con el fémur, lo que reduce la tensión de contacto. Por lo tanto, los ejercicios de CCC son generalmente mejor tolerados por la articulación patelofemoral debido a esta menor tensión de contacto (51).

Biomecánica de los Ejercicios de Cadena Cinética Abierta y Cerrada en las Extremidades Superiores

Aunque los ejercicios de CCC son más comunes en la rehabilitación de lesiones de las extremidades inferiores, también deben incluirse en los protocolos de rehabilitación de las extremidades superiores en diversas situaciones. A diferencia de la extremidad inferior, la superior funciona mejor como un sistema de CCA, donde la mano se mueve libremente en actividades dinámicas. Ejemplos de ejercicios de CCC en la extremidad superior incluyen fondos en paralelas y escaladas en roca, donde la mano se estabiliza y los músculos proximales, como los del codo y hombro, ayudan en el movimiento. Además, actividades como el baloncesto y el ciclismo combinan movimientos de CCA y CCC, similar a lo que ocurre al correr. En rehabilitación, los ejercicios de CCC se enfocan en fortalecer y controlar neuromuscularmente los músculos que estabilizan la cintura escapular, como los estabilizadores de la escápula y el manguito rotador. Es crucial desarrollar fuerza y control en estos músculos para permitir movimientos más dinámicos en los segmentos distales.

Recientemente, los programas de rehabilitación han comenzado a integrar ejercicios de CCC con ejercicios de estabilización del núcleo y movimientos funcionales. Los profesionales de la salud deben reconocer la importancia de las piernas y el tronco en la función de las extremidades superiores, incorporando ejercicios que aborden toda la CCC.

Hombro: Las actividades de carga en CCC son efectivas para promover y mejorar la estabilidad dinámica de la articulación. Generalmente, estos ejercicios se realizan con la mano fija, evitando el movimiento, y la resistencia se aplica de manera axial o rotacional. Esto genera compresión y aproximación en la articulación, lo que favorece la co-contracción muscular y, por ende, la estabilidad dinámica. Es crucial restablecer dos pares de fuerzas alrededor de la articulación glenohumeral: el deltoides anterior con el infraespinoso y el redondo menor en el plano frontal, y el subescapular contrarrestado por el infraespinoso y el redondo menor en el plano transversal. Estos músculos opuestos ayudan a estabilizar la articulación al mantener la cabeza humeral

comprimida dentro de la cavidad glenoidea mediante la co-contracción. Además, los músculos de la escápula son responsables de posicionar dinámicamente la cavidad glenoidea en relación con el húmero en movimiento, lo que permite un ritmo normal de movimiento escapulohumeral. Sin embargo, también deben proporcionar una base estable para el húmero, que es altamente móvil. Si la escápula presenta hipermovilidad, la función de toda la extremidad superior se verá comprometida. Por lo tanto, las interacciones entre el trapecio inferior y superior, así como el elevador de la escápula, son esenciales para mantener la estabilidad de la escápula. Para mejorar esta estabilidad, es recomendable realizar actividades de CCC con la mano fija (51).

Codo: El codo es una articulación que permite una flexión de hasta 145 grados desde una posición completamente extendida. En casos de hiperelasticidad articular, puede hiperextenderse ligeramente más allá de la posición neutral. Esta articulación está compuesta por las articulaciones humero-cubital, humero-radial y radiocubital. La cabeza radial, que es cóncava, se articula con la superficie convexa del capitellum del húmero distal y se conecta al cúbito proximal mediante el ligamento anular. La articulación radiocubital proximal permite alrededor de 90 grados de pronación y 80 grados de supinación, funcionando en conjunto con el codo. En ciertas actividades, el codo opera en CCA, mientras que, en otras, necesita mantener estabilidad estática y una fuerza dinámica adecuada para transferir fuerza a un objeto en movimientos de golpeo (51).

En el ámbito del entrenamiento físico y la rehabilitación, la elección entre ejercicios de CCA y CCC es fundamental para optimizar el rendimiento y la recuperación muscular. A continuación, se describirán algunos estudios que detallan los efectos de la aplicación de estas estrategias:

En un estudio llevado a cabo por Pozzi et al. (60), se investigó la activación muscular del hombro y del tronco al comparar seis pares de ejercicios de CCC y CCA para la extremidad superior, seleccionados en función de sus características de rendimiento. El objetivo principal del estudio fue evaluar la activación de los músculos durante ambos tipos de ejercicios, mientras que los objetivos secundarios se centraron en comparar la activación muscular y las proporciones de activación del hombro en cada par de ejercicios.

Para llevar a cabo la investigación, se reclutaron veintidós adultos jóvenes sanos. En la primera visita, se estableció la resistencia máxima para cinco repeticiones de cada ejercicio, tanto de CCC como de CCA. Durante la segunda visita, se registró la activación electromiográfica de varios músculos, incluyendo el

infraespinoso, deltoides, serrato anterior, trapecio (en sus tres porciones: superior, media e inferior), erector de la columna y oblicuo externo, mientras los participantes realizaban la repetición máxima de cinco de cada ejercicio. Se calculó la activación promedio durante las fases concéntrica y excéntrica de cada ejercicio, así como las razones de activación entre los músculos. Para analizar los datos, se utilizaron modelos mixtos lineales que compararon la activación muscular en los ejercicios de CCC y CCA, y se aplicó una prueba t pareada para evaluar las diferencias en la activación y las razones de activación entre los pares de ejercicios.

Los resultados del estudio revelaron que los músculos infraespinosos, trapecio inferior, erector de la columna y oblicuo externo mostraron una mayor activación durante las fases concéntrica ($p = 0,03$) y excéntrica ($p < 0,01$) en los ejercicios de CCA en comparación con los ejercicios de CCA. Además, se observó que las razones de activación fueron más bajas en los ejercicios de CCC en comparación con los de CCA en varios pares de ejercicios.

En conclusión, los ejercicios de CCC para las extremidades superiores generaron una mayor activación de los músculos del hombro y del tronco en comparación con los ejercicios de CCA. Sin embargo, algunos de los ejercicios de CCC presentaron índices de activación más bajos en comparación con sus contrapartes de CCA.

Un estudio reciente evaluó el impacto de los ejercicios de CCA y de CCC en la fuerza de los cuádriceps e isquiotibiales durante la rehabilitación temprana tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Se incluyeron dos grupos: uno que realizó ejercicios de CCA y CCC (51 participantes) y otro que solo hizo CCC (52 participantes). Los ejercicios de CCA comenzaron a las cuatro semanas postoperatorias.

Los resultados mostraron que, a los tres y seis meses, el grupo de intervención presentó una mayor fuerza en los cuádriceps e isquiotibiales en comparación con el grupo control, sin diferencias significativas en la laxitud del injerto entre ambos grupos. Esto sugiere que la incorporación temprana de ejercicios de OKC mejora la fuerza muscular sin aumentar la laxitud del injerto (61).

Otro estudio tuvo como objetivo evaluar si la combinación de ejercicios CCA y de CCC mejora la fuerza de los cuádriceps y los isquiotibiales en las fases tempranas de rehabilitación tras la reconstrucción del LCA, y si el uso temprano de ejercicios CCA influye en la laxitud del injerto a los 3 y 6 meses postoperatorios en pacientes con injerto de tendón de la corva.

Se llevó a cabo un estudio de cohorte con un nivel de evidencia 3. Se formaron dos grupos: uno de intervención que realizó ejercicios CCA y CCC (51 participantes) y otro de control que solo realizó ejercicios CCC (52 participantes). En el grupo de intervención, los ejercicios CCA comenzaron a las 4 semanas postcirugía. A los 3 y 6 meses, se realizaron pruebas isocinéticas para evaluar la simetría de las extremidades y la relación entre el par máximo y el peso corporal (PT/BW) de los cuádriceps y los isquiotibiales, además de medir la laxitud anterior de la rodilla con un artrómetro.

Los resultados mostraron que, a los 3 y 6 meses, la fuerza de los cuádriceps y los isquiotibiales fue significativamente mayor en el grupo de intervención en comparación con el grupo de control, sin diferencias significativas en la laxitud del injerto entre ambos grupos. Esto indica que la incorporación temprana de ejercicios CCA, junto con los ejercicios CCC convencionales, mejora la fuerza muscular sin comprometer la estabilidad del injerto (61).

Pliometría

Los ejercicios pliométricos emergieron de la necesidad de controlar la gravedad en contextos tanto deportivos como de supervivencia, exigiendo a los atletas desarrollar estrategias para superar la inercia, lo que implica un esfuerzo considerable. Aunque a primera vista puede parecer un enfoque simple, los mecanismos fisiológicos detrás de la pliometría son complejos y requieren una coordinación precisa de las acciones musculares para lograr resultados óptimos. Este tipo de entrenamiento, que combina un estiramiento rápido de la unidad músculo-tendón seguido de un acortamiento, forma parte del ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) (62) y permite generar fuerza máxima en el menor tiempo posible, actuando como un puente entre la fuerza pura y la potencia deportiva (63, 64).

En una contracción pliométrica, el término "pliométrico" se refiere a la capacidad del músculo para variar su longitud durante la contracción, lo que implica un proceso de pretensión que aumenta la fuerza generada durante el movimiento. Este tipo de contracción se caracteriza por una fase excéntrica inicial, donde el músculo se alarga y se "pretensa" antes de realizar una contracción concéntrica más potente. Este mecanismo es similar al funcionamiento de un resorte, donde el estiramiento previo permite un retroceso más efectivo y potente. La sincronización entre el retroceso del músculo y el inicio de la contracción concéntrica es crucial para maximizar la generación de fuerza. Un ejemplo claro de este principio se observa en el salto de longitud, donde un saltador de élite realiza un "hundimiento" en la fase

final antes del despegue. Este movimiento de pretensión activa los músculos involucrados, lo que resulta en una mayor fuerza en el despegue y, por ende, en una mejora en la distancia del salto. Así, la contracción pliométrica se convierte en un componente esencial para optimizar el rendimiento en actividades que requieren explosividad y potencia (65).

La pliometría, cuyo término proviene de las palabras griegas "plio" (más o aumentar) y "métrica" (medir), se define como una técnica de ejercicio que combina modalidades de ejercicio balístico y el ciclo de estiramiento-acortamiento. Durante la fase de carga del SSC, se produce un estiramiento repentino de los componentes elásticos de la unidad músculo-tendón, junto con una activación muscular excéntrica. El objetivo en esta fase es absorber y almacenar el impulso del cuerpo y cualquier carga externa, como un balón medicinal, para detener la velocidad. Tras esta detención, hay un breve período isométrico transitorio antes de que comience la actividad muscular concéntrica. La característica distintiva de la pliometría es que la fase concéntrica, o fase de rebote, implica la producción de carga corporal o externa en un espacio libre, en un modo balístico (66).

El término "pliométrico" fue introducido por Fred Wilt en 1975 y se utiliza a menudo de manera intercambiable con "ciclo de estiramiento-acortamiento". Sin embargo, algunos autores prefieren el segundo término en contextos específicos, lo que puede generar confusión, especialmente en relación con la fase de amortización, que es la transición entre las fases excéntricas y concéntricas del ejercicio. A lo largo del tiempo, la pliometría ha evolucionado, integrándose en programas de acondicionamiento atlético y rehabilitación, enfocándose en la técnica biomecánica adecuada y la prevención de lesiones. Este entrenamiento, que se realiza frecuentemente a niveles submáximos, ha demostrado ser eficaz para reducir lesiones en las extremidades inferiores y mejorar el rendimiento atlético (66).

La pliometría tiene sus raíces en Rusia y Europa del Este, donde se utilizó para entrenar a atletas de pista y campo, contribuyendo al éxito de estos en competiciones internacionales durante las décadas de 1950 y 1960. A pesar de su popularidad, la investigación sobre su eficacia y seguridad ha mostrado resultados mixtos, lo que sugiere que el desarrollo atlético es único para cada individuo y que es esencial establecer expectativas realistas basadas en la edad, nivel de habilidad y antecedentes de lesiones de cada atleta (63, 64).

Fases de la Pliometría

Las acciones musculares en la pliometría son esenciales para el rendimiento atlético y se dividen en tres fases: excéntrica, isométrica y concéntrica.

1. ***Fase Excéntrica***: Ocurre al aterrizar durante una zancada, donde los músculos de la pierna se alargan rápidamente debido a la gravedad, amortiguando el impacto. Esta contracción excéntrica actúa como un amortiguador, reduciendo las fuerzas sobre los tejidos conectivos y esqueléticos, lo que es crucial para prevenir lesiones, ya que estas fuerzas pueden ser significativamente mayores que en otras acciones musculares.
2. ***Fase de Transición:*** Tras la fase excéntrica, hay un breve período en el que los músculos no cambian de longitud, conocido como contracción isométrica. Durante esta fase, las articulaciones permanecen fijas, y la tensión estática es vital para preparar el cuerpo para la siguiente fase de movimiento, generando la potencia necesaria para las contracciones musculares posteriores.
3. ***Fase Concéntrica:*** En esta fase, los músculos se acortan, generando el impulso necesario para el salto o el movimiento hacia adelante. Aunque a menudo se enfatiza esta fase, su efectividad depende de la correcta sincronización y ejecución de las fases anteriores.

El entrenamiento pliométrico se centra en maximizar la activación y sincronización de las unidades motoras, lo que es fundamental para alcanzar la velocidad máxima en el rendimiento deportivo. A diferencia del entrenamiento de fuerza máxima, que busca el crecimiento muscular, la pliometría se enfoca en la velocidad y explosividad, utilizando situaciones que permiten una alta tasa de contracción muscular. Este entrenamiento se estructura en tres fases: excéntrica (carga), de transición (conversión) y concéntrica (sin carga). Es crucial evitar la fatiga excesiva, ya que las fibras de contracción rápida se fatigan rápidamente, por lo que se recomienda un descanso adecuado entre series y realizar ejercicios de velocidad-fuerza al inicio de la sesión para optimizar el rendimiento. Un ejemplo de un ejercicio pliométrico podría incluir 4 segundos en la fase excéntrica, seguido de 0 segundos de espera, 2 segundos en la fase concéntrica, y nuevamente 0 segundos de espera, lo que permite una mejor activación muscular y sincronización de las unidades motoras durante el ejercicio (63, 67).

Tabla 5. Ciclo de Alargamiento-Acortamiento

Fase Excéntrica
- Alargamiento rápido de los músculos
- Amortiguación del impacto
- Preparación para la siguiente fase
Este es el intervalo de precarga durante el cual el huso muscular se alarga antes de ser activado.
Fase de Transición
- Breve período entre la fase excéntrica y la concéntrica
- Minimizar el tiempo para evitar pérdida de potencia
Este es el período que transcurre entre la contracción excéntrica y el comienzo de la fuerza concéntrica. La rapidez del estiramiento es más importante que el tiempo que dure el estiramiento. Así, cuanto más rápido logre un atleta superar la fuerza excéntrica que disminuye y generar una fuerza concéntrica, más intensa será la respuesta.
Fase Concéntrica
- Contracción muscular para generar impulso
- Movimiento explosivo (salto, lanzamiento)
- Sincronización y activación de fases previas
Esto representa la combinación de las fases excéntrica y de amortización, resultando en una contracción concéntrica optimizada.

Características Mecánicas

Las características mecánicas de un músculo se describen mediante un modelo de tres componentes: un componente contráctil, un componente elástico en serie (CES) y un componente elástico paralelo. Estos componentes interactúan para generar fuerza, siendo el componente contráctil el principal en el control motor, mientras que el CES y el componente paralelo contribuyen a la estabilidad de las fibras musculares durante el alargamiento. Al estirarse, los músculos almacenan energía cinética, que se libera durante la contracción concéntrica, donde la mayor parte de la fuerza proviene del deslizamiento de los filamentos musculares.

La producción total de fuerza es la suma de la fuerza del componente contráctil y la del CES estirado. Este proceso se asemeja al estiramiento de una banda elástica, donde la energía potencial se almacena y se libera al volver a su longitud original. Se ha observado que la producción de fuerza concéntrica

aumenta significativamente cuando se precede de una contracción excéntrica, gracias al almacenamiento de energía elástica en el CES. La efectividad de esta energía almacenada depende de tres factores: tiempo, magnitud y velocidad del estiramiento.

Estudios han demostrado que los saltos amortiguados, que implican una mayor flexión de la rodilla, resultan en menor potencia de salida en comparación con saltos no amortiguados, donde la flexión es mínima y se produce un rebote inmediato. Además, el tipo de fibra muscular también influye en el almacenamiento de energía elástica, siendo las fibras de contracción rápida más eficientes en responder a estiramientos rápidos y cortos, mientras que las fibras de contracción lenta utilizan mejor la energía elástica en movimientos balísticos con estiramientos largos y lentos (68).

Mecanismos Neurofisiológicos

Imagina que los músculos son como un resorte: cuando se estiran, almacenan energía que luego se libera para impulsarlos. Este proceso se basa en dos componentes clave: los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi (68).

1. ***Husos Musculares:*** Estos son los sensores de estiramiento que se encuentran dentro de los músculos. Cuando se estiran, envían señales al sistema nervioso central (SNC) sobre cuánto y qué tan rápido se están alargando. Cuanto más rápido se estira el músculo, más fuerte es la respuesta que genera, lo que resulta en una contracción muscular más potente.
2. **Órganos Tendinosos de Golgi**: Situados en los tendones, estos sensores actúan como un freno. Cuando detectan que la tensión en el músculo es demasiado alta, envían señales al SNC para inhibir la contracción, protegiendo así al músculo de lesiones.

¿Cómo Funciona Todo Esto?

- ***Estiramiento y Contracción:*** Cuando se realiza un movimiento, como saltar, primero se estira el músculo (fase excéntrica) y luego se contrae (fase concéntrica). La rapidez con la que se cambia de estiramiento a contracción es crucial. Este intervalo se llama fase de amortización. Si es muy largo, se pierde energía y fuerza.
- ***Producción de Fuerza:*** La fuerza máxima que se puede generar durante este ciclo depende de cómo interactúan los husos musculares y los órganos

tendinosos de Golgi. Ambos trabajan en conjunto, pero en direcciones opuestas: uno activa y el otro inhibe. La clave está en encontrar el equilibrio adecuado.

Diseño de Programas Pliométricos

El diseño de un programa de entrenamiento pliométrico puede ajustarse mediante diversas variables, tales como la dirección del movimiento, el peso del individuo, la velocidad de ejecución, la carga externa, la intensidad, el volumen, la frecuencia, la edad de entrenamiento y el tiempo de recuperación.

1. **Dirección del Movimiento**: Los movimientos laterales son menos exigentes que los verticales, dependiendo del peso del deportista y su habilidad técnica. Se ha comprobado que los saltos en diferentes direcciones (laterales, diagonales y combinados) mejoran significativamente la explosividad, el equilibrio y la agilidad, siendo la combinación de saltos laterales y saltos en diagonal la más efectiva.

2. **Peso del Deportista**: Un mayor peso corporal incrementa la demanda del entrenamiento. Un salto que es de baja exigencia para una persona ligera puede ser muy demandante para alguien más pesado. Por ejemplo, un salto lateral sobre una línea puede ser más fácil para un deportista ligero que para uno con mayor peso.

3. **Velocidad de Ejecución**: Aumentar la velocidad en ejercicios como saltos en profundidad, donde el deportista salta desde una plataforma y aterriza en el suelo, incrementa la carga del entrenamiento.

4. **Carga Externa**: Incorporar elementos como un chaleco lastrado o una pelota medicinal puede aumentar la demanda del ejercicio, pero debe hacerse sin comprometer la velocidad de movimiento. Por ejemplo, realizar saltos verticales sosteniendo una pelota medicinal puede ser un buen ejercicio.

5. **Intensidad**: La intensidad se refiere al esfuerzo aplicado. En pliometría, se puede ajustar según el tipo de ejercicio; por ejemplo, realizar saltos en la caja es más exigente que saltar en el lugar. Es importante progresar de ejercicios simples a complejos y se puede aumentar la intensidad añadiendo más altura a la caja o aumentando el número de repeticiones.

6. **Volumen**: Este se refiere a la cantidad total de trabajo en una sesión, medido por el número de contactos de los pies. Se recomienda que los

principiantes realicen entre 50 y 75 contactos, aumentando a 150-200 a medida que mejoran.

7. **Frecuencia**: Se refiere a cuántas veces se entrena en un ciclo. Aunque no hay estudios específicos sobre la frecuencia en pliometría, se sugiere un descanso de 48 a 72 horas entre sesiones para una recuperación adecuada. Los principiantes deben esperar al menos 48 horas entre entrenamientos para evitar la fatiga muscular y asegurar un rendimiento óptimo.

Imagen 14. *Pliometría en Miembros Superiores*



Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 15. *Pliometría en Miembros Inferiores*

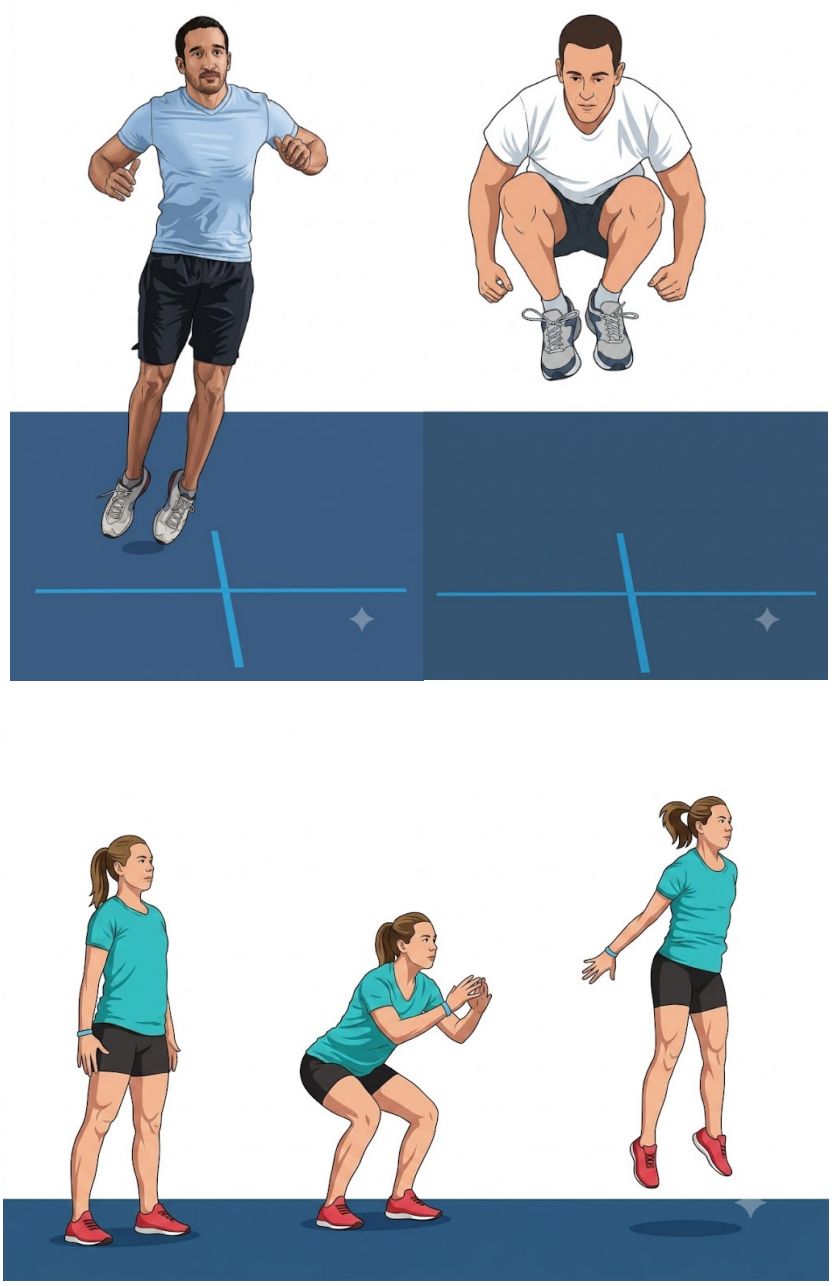


Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Tabla 6. *Ejercicios Pliométricos para Miembro Superior e Inferior*

Miembros Superiores	Miembros Inferiores
• Realizar ejercicios de atrapar y lanzar una pelota pesada, primero con un compañero y luego contra una pared, alternando entre el uso de ambas manos y luego con una sola. • Llevar a cabo movimientos de estiramiento y contracción utilizando bandas elásticas, aplicando patrones de movimiento anatómicos y diagonales. • Balancear un objeto pesado, como una pelota, un palo de golf o un bate. • Botar una pelota contra el suelo o una pared. • Realizar empujes contra una pared o una superficie elevada mientras se está de pie. • Hacer flexiones de brazos que incluyan una caída desde una plataforma baja hacia el suelo y luego regresar a la plataforma. • Ejecutar flexiones de brazos que incluyan palmadas.	• Realizar saltos repetidos en el suelo, incluyendo saltos en el mismo lugar, hacia adelante y hacia atrás, de lado a lado, en diagonal a las cuatro esquinas, saltos con rotación y en zigzag; posteriormente, practicar sobre una superficie de espuma. • Realizar saltos verticales, asegurando un aterrizaje adecuado. • Ejecutar múltiples saltos rebotando a través de una superficie. • Realizar saltos sobre una caja, comenzando desde la parte superior y manteniendo la posición, luego saltar de nuevo sobre la caja, aumentando la velocidad y la altura progresivamente. • Hacer saltos laterales, moviéndose de la caja al suelo y de regreso. • Saltar sobre objetos colocados en el suelo. • Realizar actividades de salto en el mismo lugar, sobre una superficie y sobre objetos en el suelo. • Practicar saltos de profundidad (nivel avanzado), que consisten en saltar desde una caja, aterrizar en cuclillas para absorber el impacto y luego saltar lo más alto posible.

Fuente: tomado y modificado de Colby (69)

Entrenamiento con Resistencia Isoinercial

La NASA y la comunidad de medicina espacial han reconocido desde hace décadas que la pérdida muscular y la disfunción neuromuscular tras los vuelos espaciales son problemas serios que podrían afectar las misiones espaciales. Aunque se sabía que el ejercicio aeróbico de baja intensidad no genera hipertrofia muscular ni mejora la fuerza, se pensó que podría mitigar el desacondicionamiento físico típico del espacio. En 1990, los Dres. Dudley y Tesch propusieron varias soluciones para combatir la atrofia muscular en el espacio, concluyendo que el ejercicio de resistencia era la opción más efectiva. Sin embargo, la falta de gravedad en el espacio limita el uso de equipos de ejercicio convencionales, lo que significa que aún no hay una solución definitiva para estos efectos.

El entrenamiento excéntrico ha demostrado ser más efectivo que el ejercicio concéntrico debido a varias ventajas significativas. Las acciones excéntricas pueden generar picos de fuerza más altos con menor activación muscular y un costo metabólico reducido, lo que las convierte en una opción más eficiente para el desarrollo de fuerza y masa muscular. Además, el entrenamiento excéntrico se asocia con un mayor reclutamiento de fibras musculares Tipo IIx y un efecto de educación cruzada, donde el entrenamiento en un lado del cuerpo puede beneficiar al otro. Aunque el entrenamiento excéntrico puede causar un mayor daño muscular y dolor inicial, también se ha vinculado a mecanismos que previenen el daño muscular a largo plazo y a incrementos más rápidos en la masa muscular en comparación con el ejercicio concéntrico. Sin embargo, la capacidad de producir fuerza en la fase concéntrica limita la carga que se puede utilizar, lo que implica que las cargas en el entrenamiento tradicional pueden ser subóptimas durante la fase de entrenamiento excéntrico (70).

Para optimizar el entrenamiento de resistencia con un enfoque en el entrenamiento excéntrico, se han propuesto varios métodos, como ajustar la velocidad del movimiento y utilizar dispositivos que asistan en la fase concéntrica. Dispositivos isoinerciales, como "The Flywheel Exercise Device" y "VersaPulley", han sido desarrollados para proporcionar una sobrecarga excéntrica efectiva, permitiendo que el entrenamiento se realice de manera más eficiente y segura. Estos dispositivos utilizan el principio del volante de inercia para ofrecer resistencia durante todo el rango de movimiento, facilitando acciones efectivas de frenado en el entrenamiento excéntrico (70).

Imagen 16. *Dispositivo The Flywheel Exercise Device*



Fuente: tomado de Exerfly (71)

Imagen 17. *Dispositivo VersaPulley*



Fuente: Tomado de Iberian Sportech (72)

Los dispositivos que no dependen de la gravedad utilizan un volante de inercia, que está montado en un eje fijo y conectado a una correa, para ofrecer resistencia durante el trabajo muscular. En términos simples, cuando se realiza la fase concéntrica del movimiento (cuando los músculos se contraen y acortan), la correa se desenrolla, lo que hace que el volante de inercia gire. Una vez que se completa esta fase concéntrica, la correa comienza a enrollarse nuevamente, lo que inicia la fase excéntrica del movimiento (cuando los músculos se alargan mientras resisten una carga).

Figura 5. *Funcionamiento del dispositivo de volante*



Fuente: tomado y modificado de Buonsenso (73)

Durante la fase excéntrica, la resistencia que se siente proviene de la energía cinética que se había acumulado en el volante de inercia durante la fase anterior. Esto significa que cuanto más esfuerzo se haya invertido en la fase concéntrica, mayor será la cantidad de energía que el volante de inercia tendrá almacenada. Como resultado, se requerirá un esfuerzo adicional para desacelerar y controlar el movimiento del volante durante la fase excéntrica. En resumen, el diseño de estos dispositivos permite que la resistencia se ajuste dinámicamente, dependiendo de la intensidad del esfuerzo realizado en la fase concéntrica, lo que proporciona un entrenamiento efectivo y adaptable (74).

Imagen 18. *Dispositivo IsoInercial*



Fuente: Tomado de Valenzuela (75)

La preservación de la función del músculo esquelético es vital para la salud y el metabolismo, ya que la pérdida muscular, que puede ocurrir por envejecimiento, desuso o enfermedades, representa una amenaza para la salud. El ejercicio de resistencia se considera una estrategia clave no farmacológica para combatir estos efectos. En este contexto, la tecnología isoinercial YoYo™ ha demostrado ser eficaz, especialmente para la tripulación espacial, ofreciendo beneficios fisiológicos *únicos* (76). El desarrollo del YoYo™ surgió de la necesidad de un método de ejercicio que no dependiera de la gravedad, enfrentando desafíos operativos y fisiológicos en el espacio. Se buscaba un aparato compacto y ligero que no requiriera un uso excesivo de recursos limitados como energía y oxígeno.

Investigaciones previas habían demostrado que el ejercicio excéntrico era más efectivo para aumentar la fuerza muscular que el concéntrico, lo que llevó a estudios en la década de 1980 sobre el entrenamiento excéntrico y concéntrico acoplado, mostrando que este último provocaba una mayor hipertrofia muscular y fuerza. Entre las diversas tecnologías que facilitan la sobrecarga excéntrica, el entrenamiento de resistencia con volante isoinercial se destaca como uno de los métodos más empleados, con una eficacia comprobada en varios contextos, incluyendo la prevención y rehabilitación de lesiones, así como en el rendimiento deportivo (77). Aunque el uso de la inercia de un volante como fuente de resistencia se remonta a 1796, fue en 1994 cuando Berg y Tesch reintrodujeron este concepto para ejercicios de resistencia, específicamente para ayudar a astronautas. El hardware del YoYo™ fue probado en el espacio durante la misión STS-78 en 1996, validando su efectividad en condiciones de microgravedad (76).

El entrenamiento Isoinercial es un método efectivo para mejorar la hipertrofia, las funciones neuromusculares, la potencia y el tiempo de sprint, gracias a su capacidad para aplicar una resistencia adaptada y una sobrecarga excéntrica individualizada (78). Este método utiliza un dispositivo que genera sobrecargas excéntricas mediante volantes giratorios, permitiendo cargas de resistencia lineales ilimitadas y ajustables en cada repetición. La fuerza de resistencia en la fase excéntrica es proporcional al esfuerzo concéntrico del atleta, y el diseño del volante permite movimientos en tres dimensiones. La carga se puede modificar aumentando la velocidad o añadiendo peso al volante. Además, la ausencia de fricción asegura que la energía en ambas fases de movimiento sea equivalente, facilitando un esfuerzo excéntrico significativo con un bajo coste metabólico (79).

Durante los últimos 20 años, se ha investigado extensamente el impacto del entrenamiento inercial con dispositivos de volante, especialmente en la masa muscular de la parte inferior del cuerpo en individuos sanos y activos. La mayoría de los estudios utilizaron un protocolo de 4 series de 7 repeticiones máximas durante un período de 5 a 15 semanas. Los hallazgos muestran que el entrenamiento con sobrecarga excéntrica mediante tecnología de volante puede resultar en aumentos del 5-13% en masa muscular, del 11-39% en contracción voluntaria máxima, del 12-25% en una repetición máxima (1 RM), del 21-90% en fuerza excéntrica, del 10-33% en potencia muscular, del 6-15% en capacidad de salto, del 2-10% en velocidad de carrera y hasta un 35% en actividad electromiográfica. Aunque la sobrecarga excéntrica puede causar un daño muscular significativo y respuestas inflamatorias al inicio del entrenamiento,

estos efectos se reducen considerablemente poco después, lo que sugiere que no hay consecuencias negativas para el músculo (70).

Estos dispositivos también se han utilizado en la prevención y tratamiento de lesiones musculares y tendinosas (76). En general, se han observado mejoras en el rendimiento atlético y una reducción en la incidencia de lesiones al utilizar dispositivos FW, independientemente de las diversas cargas de entrenamiento aplicadas en los estudios (80, 81, 76).

La gestión adecuada de las variables del ejercicio es crucial para lograr respuestas musculares específicas, como el aumento de potencia y la optimización del rendimiento en tareas deportivas (82).

Un estudio de Martín-San et al. llevó a cabo un estudio transversal con un nivel de evidencia 4, donde evaluaron la activación muscular de los músculos bíceps femoral, semitendinoso, glúteo mayor y gracilis durante ejercicios de extensión de cadera bajo diferentes condiciones de carga. La hipótesis planteada era que el entrenamiento inercial provocaría una mayor activación muscular en comparación con el entrenamiento gravitacional. Participaron quince hombres entrenados en resistencia. Los sujetos realizaron ejercicios de puente de rodilla unilateral, extensión de cadera a 45° y peso muerto con piernas rígidas, evaluando la actividad electromiográfica en diferentes fases de los ejercicios, bajo condiciones de carga gravitacional e inercial. Los resultados mostraron que, en la fase concéntrica, la carga inercial generó una mayor activación muscular en los músculos bíceps femoral, semitendinoso y glúteo mayor en comparación con la carga gravitacional. Además, los ejercicios de puente de rodilla y extensión de cadera activaron más los músculos bíceps femoral y semitendinoso que el peso muerto. En la fase excéntrica, la carga inercial también resultó en una mayor activación del glúteo mayor. En conclusión, el entrenamiento inercial es más efectivo que el gravitacional para activar los músculos isquiotibiales de manera concéntrica. Por lo tanto, se sugiere que los ejercicios de extensión de cadera y puente de rodilla con carga inercial sean considerados en los programas de entrenamiento para fortalecer los isquiotibiales. Desde una perspectiva clínica, se destaca la importancia del entrenamiento de fuerza, especialmente con carga inercial, en la prevención de lesiones en esta musculatura (83).

En una revisión sistemática, evaluaron la efectividad del entrenamiento con volante de inercia, que simula movimientos deportivos específicos y sobrecarga tanto en fases concéntricas como excéntricas. Los hallazgos sugieren que el entrenamiento con volante de inercia es efectivo para mejorar el rendimiento

deportivo, ofreciendo variabilidad en las metodologías de entrenamiento y fomentando la adherencia de los atletas. Sin embargo, se requieren más investigaciones para establecer pautas sobre la modalidad, frecuencia, volumen y carga de inercia (73).

Estrategias de Movilización y Tracción Articular

Para la realización de movilizaciones articulares, es importante reconocer que existen dos tipos de movimientos que afectan a las articulaciones: estos son los *Movimientos Fisiológicos* u *Osteocinemáticos* que resultan de contracciones musculares activas y permiten el movimiento de un hueso alrededor de un eje, generando que se produzca la flexión, la extensión, la abducción, la aducción y rotación; y los *Movimientos Accesorios* que se refieren a como una superficie articular se desplaza con relación a otra superficie articular y suelen acompañar a los movimientos fisiológicos.

Los dos tipos de movimientos suceden de manera simultánea, pero los movimientos accesorios no pueden realizarse de forma independiente y pueden ser inducidos por fuerzas externas. Para que pueda lograrse un rango de movimiento fisiológico completo, es necesario que los movimientos accesorios sean normales. Si existen restricciones en los movimientos accesorios, los movimientos fisiológicos también estarán afectados. Por tal motivo, es decisivo que el fisioterapeuta deportivo evalúe si las limitaciones en el movimiento son debidas a restricciones musculotendinosas o a problemas en la cápsula articular y ligamentos.

En este contexto, el fisioterapeuta deportivo debe evaluar no solo la flexión y la extensión, sino también las limitaciones en el giro y deslizamiento. Si hay restricciones en el movimiento fisiológico, es indicado realizar estiramientos para mejorar la flexibilidad, especialmente al final del rango de movimiento. Si las limitaciones son causadas por la cápsula articular o los ligamentos, es recomendable utilizar técnicas de movilización, que son más seguras y efectivas (18).

Las técnicas de movilización articular son un tipo de actividad pasiva que se utiliza para aumentar la amplitud de movimiento y mejorar la artrocinemática. Su uso adecuado puede facilitar la curación, reducir la discapacidad, aliviar el dolor y restaurar la amplitud de movimiento completa (84).

La movilización y la manipulación son conceptos que pueden usar de manera intercambiable, definiéndose como un continuo de movimientos pasivos aplicados a diferentes velocidades y amplitudes, incluyendo movimientos de pequeña amplitud y alta velocidad. Por lo general, las intervenciones por medio de la movilización articular son bien toleradas por los deportistas (85).

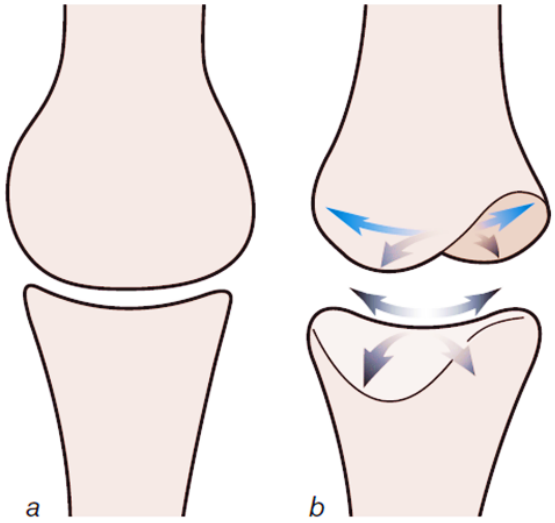
Maitland definió la *Movilización Articular* como un movimiento pasivo de pequeña amplitud que se aplica externamente para producir deslizamiento o tracción en una articulación. Tradicionalmente, la *Manipulación Articular* se ha considerado una técnica específica que implica un estiramiento pasivo de la cápsula articular mediante una maniobra de empuje rápida. Esta técnica ha sido vista como un tipo particular de movilización articular (86).

Conceptos Artrocinemáticos

La artrocinemática hace referencia a los movimientos que ocurren entre los huesos de una articulación. Existen cinco tipos de movimientos artrocinemáticos: rodamiento, deslizamiento, giro, compresión y distracción. Estos movimientos son esenciales para permitir un rango de movimiento adecuado en la articulación y dependen del complejo articular.

Las superficies articulares pueden ser cóncavas, convexas o una combinación de ambas. Las articulaciones con una superficie cóncava y otra convexa se conocen como ovoides, mientras que las que presentan una cóncava en una dirección y convexa en otra, similar a una silla de montar, se denominan articulaciones en silla de montar. La forma de la articulación influye en los movimientos artrocinemáticos que puede realizar (87).

Figura 6. *Superficies articulares*



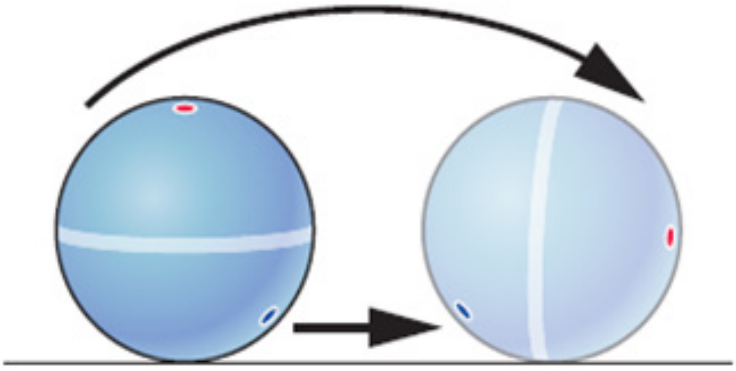
Nota. (a) articulación ovoide, (b) articulación en silla de montar. *Fuente: tomado de Houglum* (87)

Tipos de Movimiento: Cuando una palanca ósea se mueve sobre un eje, también se produce un movimiento entre las superficies óseas de la articulación opuesta. La cantidad de movimiento se mide en grados con un goniómetro y se conoce como rango de movimiento. El movimiento de las superficies óseas en la articulación es una combinación de rodamiento, deslizamiento y giro (88).

Rodamiento (88): las características del rodamiento de un hueso sobre otro son las siguientes:

- Las superficies óseas son incongruentes.
- Nuevos puntos de una superficie se encuentran con nuevos puntos en la superficie opuesta.
- El rodamiento genera un movimiento angular del hueso (oscilación).
- Este movimiento siempre ocurre en la misma dirección que la oscilación del hueso, ya sea que la superficie sea convexa o cóncava.
- Si el rodamiento ocurre de forma aislada, provoca compresión en las superficies del lado hacia el que se inclina el hueso y separación en el lado opuesto. El estiramiento pasivo que utiliza solo la angulación del hueso puede generar fuerzas de compresión que estresan ciertas áreas de la superficie articular, lo que puede causar daños en la articulación.

Figura 7. *Rodamiento*

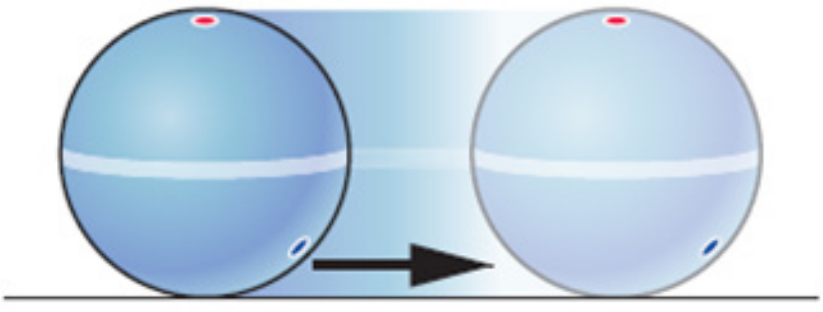


Nota. En un rodamiento, diferentes puntos de una superficie hacen contacto con diferentes puntos de la otra superficie. *Fuente*: t*omado de Houglum* (87)

Deslizamiento (88): las características del deslizamiento de un hueso sobre otro incluyen las siguientes:

- Para un deslizamiento puro, las superficies deben ser congruentes, ya sean planas o curvas.
- El mismo punto en una superficie entra en contacto con los nuevos puntos en la superficie opuesta.
- El deslizamiento puro no ocurre en las articulaciones porque las superficies no son completamente congruentes.
- La dirección del deslizamiento depende de la forma de la superficie en movimiento, a lo que se establece dentro de la ley cóncavo-convexo:
    - Si la superficie es convexa, el deslizamiento ocurre en dirección opuesta al movimiento angular del hueso.
    - Si la superficie es cóncava, el deslizamiento se produce en la misma dirección que el movimiento angular del hueso.

Figura 8. *Deslizamiento*



Nota. En un deslizamiento, un punto de una superficie se encuentra en contacto con varios puntos de la otra superficie.

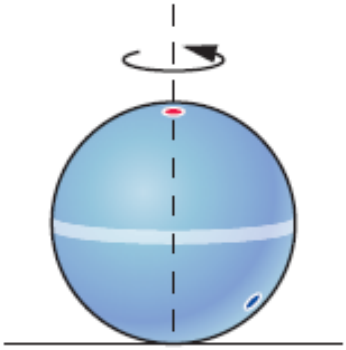
Fuente: tomado de Houglum (87)

Giro (88): Las características de un hueso que rota sobre otro son las siguientes:

- Se produce la rotación de un segmento alrededor de un eje mecánico fijo.
- Un mismo punto en la superficie en movimiento describe un arco circular mientras el hueso gira.

- El giro rara vez ocurre de manera aislada en las articulaciones, sino que se presenta junto con el rodamiento y el deslizamiento.
- Tres ejemplos de giro en las articulaciones del cuerpo son el hombro durante la flexión/extensión, la cadera en flexión/extensión y la articulación radio humeral en pronación/supinación.

Figura 9. *Giro*



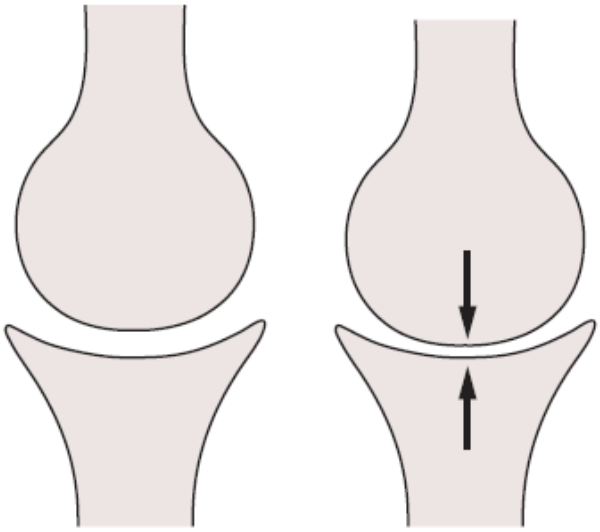
Nota. En un giro, un segmento rota en torno a un eje mecánico fijo.

Fuente: tomado de Houglum (87)

Compresión (88): La compresión se refiere a la reducción del espacio articular entre los huesos conectados.

- Este fenómeno ocurre comúnmente en las articulaciones de las extremidades y la columna vertebral cuando se aplica peso.
- Se genera cierta compresión cuando los músculos se contraen, lo que contribuye a la estabilidad de las articulaciones.
- Al girar un hueso sobre otro, también se produce compresión en el lado hacia el cual se inclina el hueso.
- Las cargas de compresión intermitentes normales facilitan el movimiento del líquido sinovial, lo que ayuda a mantener la salud del cartílago.
- Sin embargo, las cargas de compresión excesivamente altas pueden causar cambios y deterioro en el cartílago articular.

Figura 10. *Compresión*

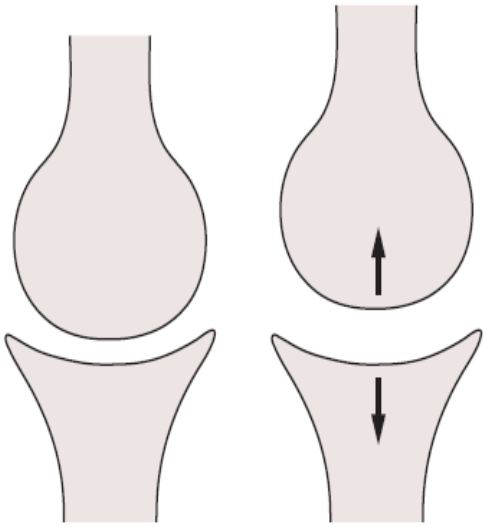


Fuente: tomado de Houglum (87)

Distracción/Tracción (88): Tracción y distracción no son términos equivalentes. La tracción se refiere a un tirón a lo largo del eje, mientras que la distracción implica una separación o alejamiento.

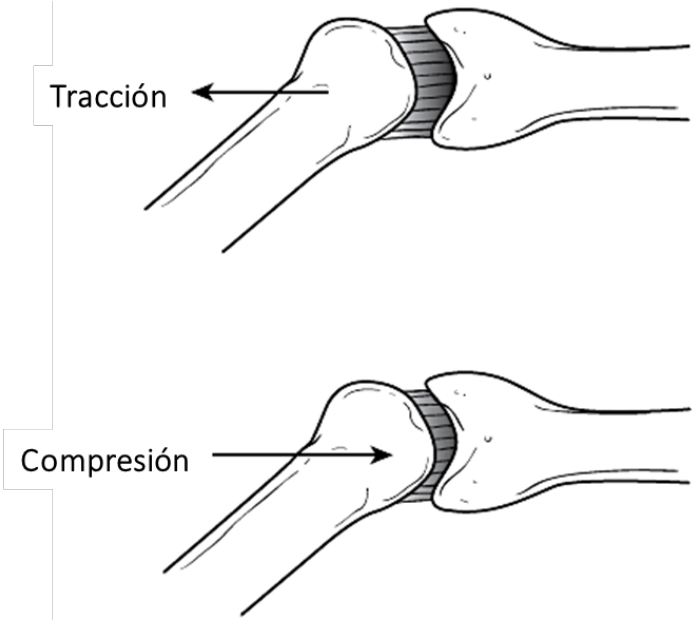
- La separación de las superficies articulares (distracción) no siempre ocurre al aplicar una fuerza de tracción a lo largo del eje de un hueso. Por ejemplo, al aplicar tracción al eje del húmero con el brazo a un lado, se produce un deslizamiento de la superficie articular. La distracción de la articulación glenohumeral, en cambio, requiere que se aplique una fuerza perpendicular a la fosa glenoidea.
- Para mayor claridad en este texto, cuando se necesite aplicar una fuerza de tracción a lo largo del eje de un hueso, se utilizará el término "tracción del eje largo". En cambio, cuando se trate de separar las superficies, se emplearán los términos "distracción", "tracción articular" o "separación articular".

Figura 11. *Tracción*



Fuente: tomado de Houglum (87)

Figura 12. *Aplicación de la tracción y la compresión en una articulación*

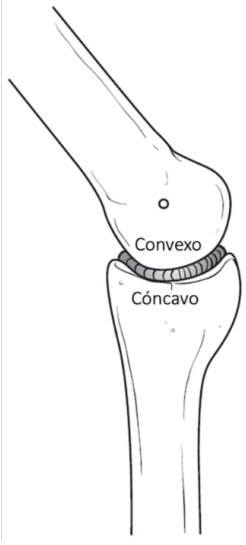


Fuente: tomado de Edmond (89)

Regla de Cóncavo-Convexo

La mayoría de las superficies articulares sinoviales en el cuerpo humano son convexas o cóncavas, aunque algunas no se ajustan perfectamente a estas formas. Por ejemplo, la cabeza humeral es convexa y la fosa glenoidea es cóncava. En articulaciones donde la forma no es claramente convexa o cóncava, a menudo hay estructuras como discos que ayudan a modificar el contorno articular (90).

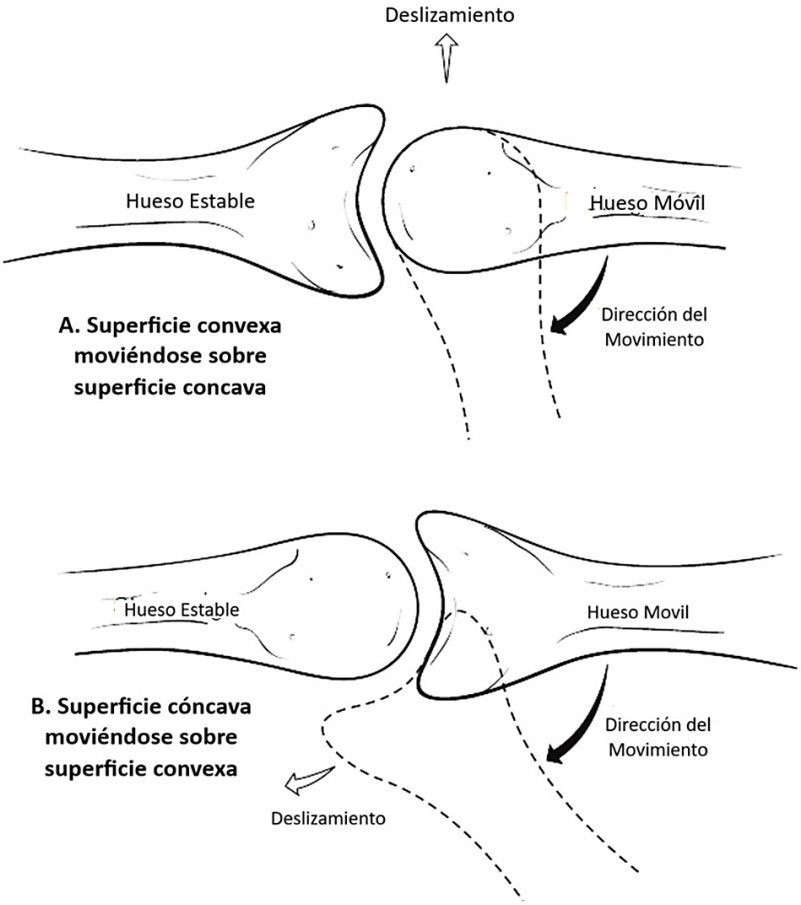
Figura 13. *Articulación ovoide*



Fuente: tomado y modificado de Edmond (89)

Las reglas de concavidad y convexidad son fundamentales para aplicar correctamente las técnicas de movilización en las articulaciones. Estas reglas indican que, en una articulación, una superficie se mueve mientras que la otra permanece fija. Según la regla de concavidad sobre convexidad, cuando la superficie cóncava se desplaza, su deslizamiento ocurre en la misma dirección que el movimiento del hueso, mientras que la superficie convexa se mantiene estable. En contraste, en la regla de convexidad sobre concavidad, la superficie convexa se desliza en dirección opuesta al movimiento del hueso, mientras que la cóncava permanece en su lugar (87).

Figura 14. *Regla de Cóncavo-Convexo*



Fuente: tomado y modificado de Edmond (89)

Por ejemplo, al estabilizar el muslo para evitar el movimiento del fémur en la rodilla, la tibia, que tiene una superficie cóncava, se desliza hacia atrás al pasar de la extensión a la flexión. Por otro lado, si se estabiliza la cavidad glenoidea en el hombro, la cabeza humeral, que es convexa, se desliza hacia abajo mientras el húmero se mueve hacia arriba en abducción. Para aumentar la flexión de la rodilla, se debe aplicar una fuerza de movilización en dirección anteroposterior sobre la tibia, mientras que, para favorecer la extensión, la fuerza debe ser postero-anterior. De manera similar, al movilizar el astrágalo en el tobillo, se aplica una fuerza anteroposterior para incrementar la dorsiflexión y una fuerza postero-anterior para aumentar la flexión plantar (87).

Tabla 7. *Tipos de Articulaciones: Cóncavas y Convexas en Movimiento*

Articulación	Segmento Estable	Segmento Móvil	Regla de Movilización Articular
Glenohumeral	Fosa glenoidea	Cabeza del húmero	Convexo sobre cóncavo: La cabeza humeral se desliza en sentido opuesto al movimiento del húmero.
Antebrazo: articulación proximal	Ulna	Cabeza del radio	Convexo sobre cóncavo: la cabeza radial redonda se desliza en sentido opuesto al movimiento del antebrazo.
Antebrazo: articulación distal	Cabeza de la Ulna	Escotadura cubital del radio	Cóncavo sobre convexo: la escotadura cubital convexa se desliza en la misma dirección que el movimiento del antebrazo.
Articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas	La convexidad meta-carpal	Concavidad proximal de las falanges	Cóncava sobre convexa: la falange cóncava se desliza en la misma dirección que el movimiento del dedo.
Cadera	Acetábulo	Cabeza del fémur	Convexo sobre cóncavo: la cabeza femoral se desliza en sentido opuesto al movimiento del eje femoral.
Rodilla	Fémur	Tibia	Cóncava sobre convexo: el deslizamiento de la tibia se realiza en la misma dirección que el movimiento tibial.
Talocrural	Mortaja tibio-fibular	Cúpula del astrágalo	Convexo sobre cóncavo: el astrágalo se desliza en sentido opuesto al movimiento del pie.
Articulaciones metatarsofalángicas e interfalángicas	Metatarso convexo	Falange proximal cóncava	Cóncava sobre convexa: la falange cóncava se desliza en la misma dirección que el movimiento de los dedos.

Fuente: tomado y modificado de Houglum (87)

Efectos de la Movilización Articular

La movilización articular es la terapia manual con mayor respaldo científico en cuanto a su eficacia. Diversos estudios han demostrado sus beneficios en deportistas con problemas en la columna, así como en miembros inferiores y superiores. Además, muchos fisioterapeutas deportivos reportan de manera anecdótica resultados positivos y consistentes en sus tratamientos. Aunque aún no se ha determinado con precisión la causa de estos beneficios, se sugiere que las técnicas de movilización articular generan cambios químicos, fisiológicos o mecánicos favorables.

Los fisioterapeutas deportivos emplean la movilización y manipulación articular principalmente para tratar el dolor y la hipomovilidad articular. Los efectos de estas técnicas se pueden clasificar en tres categorías: mecánicos, neurofisiológicos y psicológicos (87, 89).

- **Efectos mecánicos de la movilización articular:** Las técnicas de movilización más intensas pueden mejorar la movilidad en articulaciones hipomóviles, que a menudo desarrollan adherencias colágenas y tejido conectivo engrosado debido a la inmovilización. Estas técnicas no solo estiran los tejidos capsulares, sino que también ayudan a aflojar o romper adherencias, facilitando así el movimiento articular. La aplicación de la fuerza adecuada es crucial para restaurar la flexibilidad y movilidad de la cápsula y otros tejidos blandos, como ligamentos y tendones, que pueden acortarse tras una lesión. Además, se ha propuesto que la movilización puede liberar atrapamientos meniscales en articulaciones facetarias, lo que podría aliviar el dolor y mejorar la movilidad. Sin embargo, la evidencia actual sugiere que los efectos biomecánicos de la movilización son transitorios y no generan cambios posicionales duraderos. Por lo tanto, es importante considerar también los efectos neurofisiológicos y psicológicos que pueden influir en la recuperación de la movilidad articular (87, 89).

- **Efectos neurofisiológicos:** Las movilizaciones y manipulaciones articulares generan efectos neurofisiológicos tanto locales como distales, especialmente cuando se aplican en la columna vertebral, que está altamente inervada y proporciona una significativa entrada aferente al sistema nervioso central. Esta entrada proviene de mecanorreceptores y terminaciones nerviosas en las articulaciones y músculos, que al ser activados durante el movimiento, envían información propioceptiva y nociceptiva a la médula espinal. El área gris periacueductal del mesencéfalo juega un papel crucial en la mediación de la analgesia endógena, coordinando sistemas nociceptivos, autónomos y motores. Aunque algunos estudios sugieren que la movilización puede inducir la liberación de péptidos opioides, como la beta-endorfina, que contribuyen a la analgesia, la evidencia es controvertida, ya que no todos los estudios han podido replicar estos hallazgos. Además, la movilización puede alterar los patrones de activación muscular, inhibiendo ciertos músculos y facilitando otros que son esenciales para el control neuromuscular. En general, se postula que la movilización articular puede aliviar el dolor al activar mecanorreceptores que inhiben la transmisión de señales nociceptivas, lo que a su vez puede reducir el espasmo y la protección muscular, promoviendo así la relajación y disminuyendo el dolor (87, 89).

Orientación Articular y Mecanismos de Aplicación de Fuerza

Cada articulación del cuerpo tiene una posición específica conocida como Posición de Relajación, en la cual la cápsula articular y los ligamentos están relajados o distendidos, permitiendo el máximo rango de movimiento. Esta posición es fundamental para realizar pruebas de movilidad articular y tratamientos para articulaciones hipomóviles, ya que en ella las superficies articulares están separadas al máximo. En contraste, en la posición de máxima congruencia, hay un contacto máximo entre las superficies articulares y los ligamentos están tensos, lo que limita el movimiento (18).

La posición de relajación es ideal para las técnicas de movilización y tracción, que implican un movimiento de traslación entre las superficies articulares. Este movimiento puede ser perpendicular o paralelo al plano de tratamiento, el cual se define en relación con el eje de rotación de las superficies articulares. Las técnicas de movilización utilizan deslizamientos paralelos al plano de tratamiento, mientras que las técnicas de tracción se mueven perpendicularmente a este (84). Ambas técnicas requieren que la articulación esté en una posición suelta para ser efectivas.

La efectividad de la movilización articular depende de la posición de la articulación, así como de la dirección y la magnitud de la fuerza aplicada. Las articulaciones pueden encontrarse en una posición compacta, donde las superficies están alineadas y los ligamentos tensos, lo que no es adecuado para la movilización. En cambio, la posición de relajación permite que los tejidos circundantes se relajen y maximiza el espacio intracapsular (18).

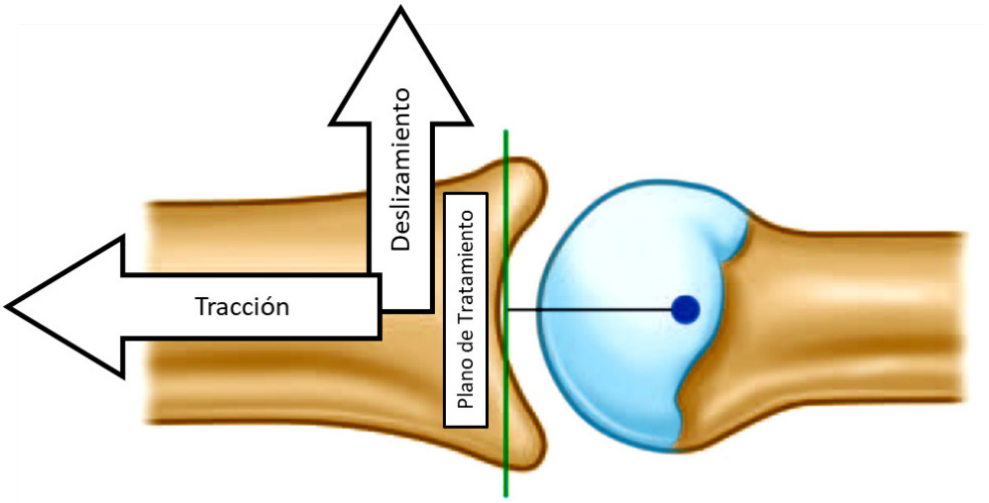
La dirección de la fuerza aplicada durante la movilización se basa en la forma de las superficies articulares, que suelen ser cóncavas y convexas. Según la regla cóncava-convexa, si la superficie cóncava permanece fija y se moviliza la convexa, el deslizamiento debe ser en dirección opuesta a la restricción del movimiento. Por el contrario, si la convexa está fija y se moviliza la cóncava, el deslizamiento debe ser en la misma dirección que la restricción (18, 84).

Las movilizaciones se realizan generalmente en series de tres a seis, con duraciones de hasta 30 segundos y oscilaciones de una a tres por segundo. La tracción se utiliza junto con las movilizaciones para tratar articulaciones con movilidad reducida, estirando la cápsula articular y aumentando el espacio entre las superficies articulares, lo que facilita la movilización. Oscilaciones de grado III y IV, siempre dentro de los límites del dolor, pueden mejorar de manera efectiva la movilidad articular (18, 84).

Técnicas de Movilización Articular

Las técnicas de movilización articular se emplean para mejorar la movilidad y reducir el dolor en las articulaciones; esto se logra restaurando los movimientos accesorios y permitiendo un rango de movimiento completo y sin dolor. Estas técnicas pueden tener diversos objetivos, como aliviar el dolor, disminuir la protección muscular, estirar el tejido alrededor de la articulación y mejorar la conciencia postural y kinestésica (18).

Figura 15. *Plano de Tratamiento/Movilización Articular*



Fuente: tomado y modificado de Prentice (18)

Las articulaciones pueden ser clasificadas como hipomóviles (con movimiento limitado), normales o hipermóviles (con movimiento excesivo). En general, las articulaciones hipomóviles suelen beneficiarse de técnicas de movilización, mientras que las hipermóviles requieren ejercicios de fortalecimiento y estabilidad (18).

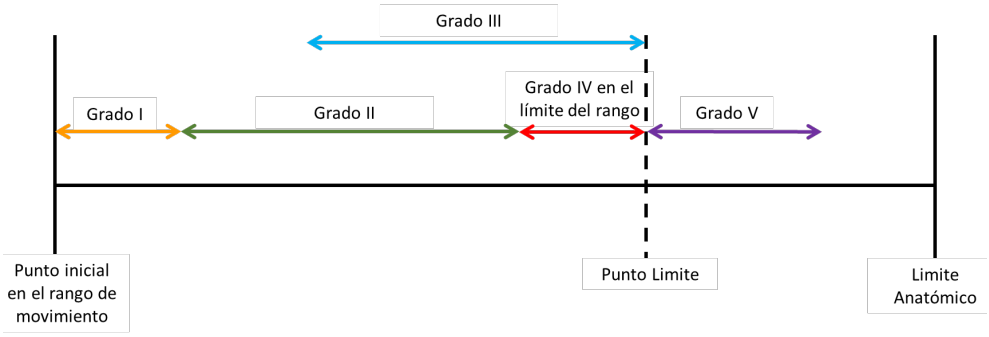
En cuanto a las técnicas de movilización, estas implican movimientos lentos y de pequeña amplitud, que se realizan dentro del rango de movimiento total de la articulación. Maitland clasifica estas movilizaciones en cinco grados, que varían en amplitud y se aplican según la limitación del movimiento (91):

Tabla 8. *Grados según Maitland*

Grado	Descripción
I	Movimiento de baja amplitud realizado al inicio del rango de movimiento, empleado cuando el dolor y el espasmo restringen la movilidad en esa zona.
II	Movimiento de amplia amplitud que se lleva a cabo en la parte media del rango de movimiento, utilizado cuando el dolor que se intensifica gradualmente limita la movilidad en esa área.
III	Movimiento de amplia amplitud que se extiende hasta el límite patológico del rango de movimiento, utilizado cuando el dolor y la resistencia provocados por un espasmo, la tensión en los tejidos inertes o la compresión de los tejidos restringen la movilidad cerca del final del rango.
IV	Movimiento de baja amplitud realizado al final del rango de movimiento, empleado cuando la resistencia restringe la movilidad sin la presencia de dolor o espasmo.
V	Un empuje rápido de baja amplitud que se realiza al final del rango de movimiento, el cual suele ir acompañado de un sonido de estallido conocido como cavitación.

Fuente: tomado y modificado de Konin (84)

Figura 16. *Grados de movilidad según Maitland*



Fuente: tomado y modificado de Prentice (18)

Esta clasificación se basa en la amplitud del movimiento y en el punto del rango de movimiento donde se aplica la fuerza. Los grados I y IV corresponden a movimientos de pequeña amplitud, realizados al inicio y al final del rango de movimiento, respectivamente. En contraste, los grados II y III son de gran amplitud, donde el grado II no alcanza los límites del rango y el grado III se realiza hasta el límite disponible. Los grados I y II se utilizan principalmente para aliviar el dolor articular, ya que estimulan los mecanorreceptores para inhibir la retroalimentación nociceptiva. Estos grados son útiles antes y después

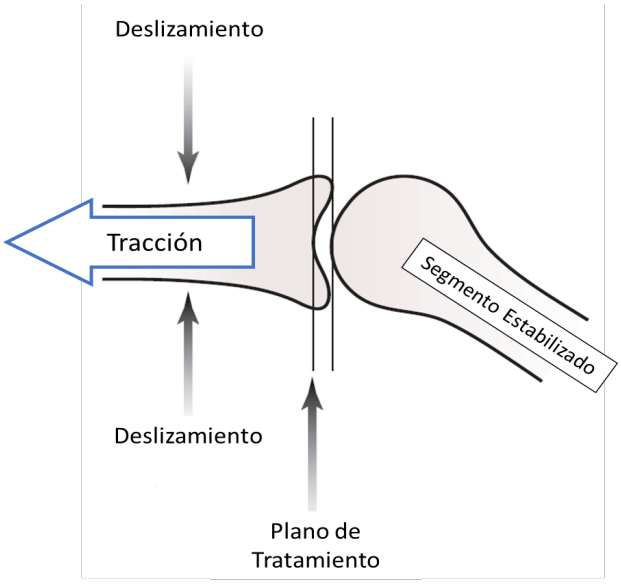
de aplicar los grados III y IV, que se enfocan en ganar movimiento articular al estirar la cápsula y los tejidos conectivos que limitan la movilidad. Aunque los grados III y IV pueden ser incómodos, no deben causar dolor (87).

Es importante señalar que, si la movilización en la dirección correcta provoca un aumento del dolor o la rigidez, el entrenador deportivo debe aplicar la técnica en la dirección opuesta hasta que el paciente pueda tolerar el movimiento adecuado. En general, la movilización articular consiste en realizar de 3 a 6 series de oscilaciones, cada una con una duración de 20 a 60 segundos, manteniendo una frecuencia de 1 a 3 oscilaciones por segundo (18).

Técnicas de Tracción Articular

Según Kalterborn-Evjenth, la tracción es un método seguro y efectivo para evaluar el estado de la cápsula articular. Esta técnica consiste en separar una superficie articular de la otra, permitiendo así, como tratamiento aliviar el dolor o mejorar la movilidad articular (92).

Figura 17. *Plano de Tratamiento/Tracción Articular*



Fuente: tomado y modificado de Houglum (87)

Aunque los deslizamientos de movilización se llevan a cabo en paralelo al plano de tratamiento, la tracción se realiza de manera perpendicular a dicho plano (ver Figura). Al igual que las técnicas de movilización, la tracción

puede emplearse para aliviar el dolor o para mejorar la hipomovilidad articular. Kalterborn ha propuesto un sistema que combina la tracción con la movilización como un método para reducir el dolor o movilizar articulaciones con hipomovilidad. Como se mencionó anteriormente, todas las articulaciones poseen un cierto grado de juego o flexibilidad, que Kalterborn denominó holgura. Un nivel adecuado de holgura es esencial para el movimiento normal de la articulación. Los tres grados de tracción según Kalterborn se definen de la siguiente manera (18):

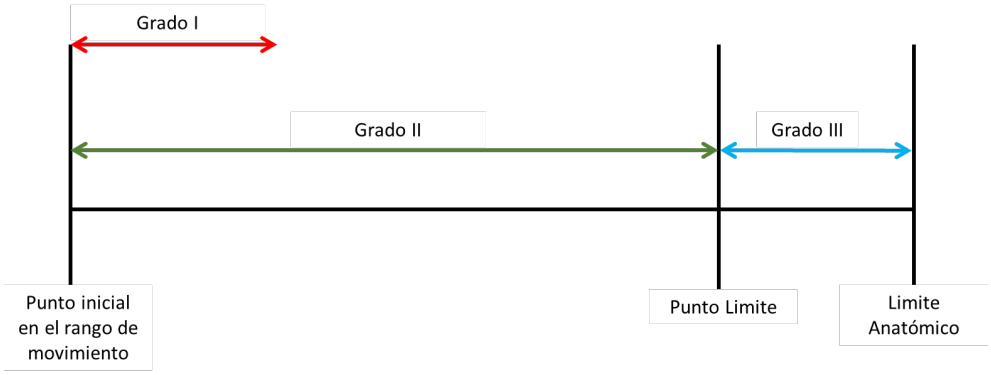
Tabla 9. *Grados según Kalterborn*

Grado	Descripción
I	**Aflojar -** Este tipo de tracción alivia la presión en la articulación sin separar las superficies articulares, con el objetivo de reducir el dolor al disminuir las fuerzas de compresión durante la movilización. Se utiliza en combinación con todos los grados de movilización y es similar a una movilización de grado I.
II	**Tensar o reducir la holgura -** Esta tracción separa efectivamente las superficies articulares y elimina la holgura en la cápsula articular. Se emplea en el tratamiento inicial para evaluar la sensibilidad de la articulación y también se utiliza para aliviar el dolor, siendo equivalente a una movilización de grado IV.
III	**Estiramiento -** Este tipo de tracción implica estirar el tejido blando que rodea la articulación para mejorar la movilidad en articulaciones con hipomovilidad.

Fuente: tomado y modificado de Konin (84)

La tracción de grado I se recomienda en el tratamiento inicial para minimizar el riesgo de dolor. Se sugiere aplicar tracción intermitente de grado I y II durante 10 segundos, separando las superficies articulares hasta alcanzar la tracción de grado III, y luego liberar la tensión hasta que la articulación vuelva a su posición de reposo. Kalterborn destaca que la tracción de grado III debe combinarse con deslizamientos de movilización para abordar la hipomovilidad articular. Este tipo de tracción estira la cápsula articular y aumenta el espacio entre las superficies articulares, permitiendo que la articulación esté en una posición más suelta y compacta. Además, las oscilaciones de grado III y IV, dentro de los límites del dolor del paciente, deberían maximizar la movilidad articular (18).

Figura 18. *Grados de tracción según Kalterborn*



Fuente: tomado y modificado de Prentice (18)

Control Neuromuscular y la Propiocepción

Julio César Scaliger fue el primero en describir la sensación de posición-movimiento como una "sensación de locomoción" en 1557. Posteriormente, en 1826, Charles Bell propuso que la información sobre la posición del músculo se transmitía desde los músculos al cerebro, en dirección opuesta a los comentarios motores, lo que representó un avance significativo al explicar uno de los primeros mecanismos de retroalimentación fisiológica.

Más tarde, en 1880, Henry Charlton Bastian sugirió el término "cinestesia" en lugar de "sensación muscular", para indicar que la información aferente provenía no solo de los músculos, sino también de las articulaciones, la piel y los tendones. En 1889, el neurólogo alemán Alfred Goldscheider clasificó la cinestesia en sensibilidad muscular, tendinosa y articular. Finalmente, en 1906, Charles Scott Sherrington introdujo los términos "propiocepción", "interocepción" y "exterocepción". Los "exteroceptores" son órganos sensoriales como los ojos, oídos, boca y piel, que reciben información del entorno, mientras que los "interoceptores" informan sobre los órganos internos. Por su parte, la "propiocepción" se define como la conciencia del movimiento y la postura, derivada de los músculos, tendones y articulaciones (67).

Los movimientos de las partes del cuerpo son regulados por las funciones de los sistemas somatosensorial y sensoriomotor, cuyo funcionamiento conjunto es crucial para un sentido propioceptivo eficiente. El sistema somatosensorial está compuesto por receptores sensoriales, neuronas en estructuras

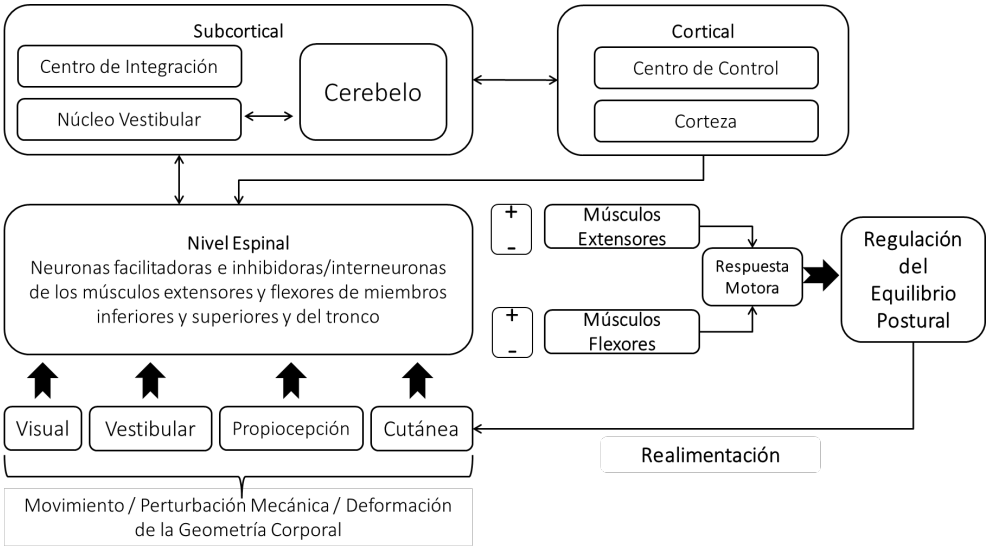
periféricas y neuronas en áreas corticales más profundas. Estos receptores se dividen en termorreceptores, fotorreceptores, mecanorreceptores y quimiorreceptores, y son responsables de recibir información sensorial somestésica periférica, que incluye datos propioceptivos, táctiles, térmicos y nociceptivos provenientes de la piel, músculos, huesos, articulaciones, órganos internos y el sistema cardiovascular. Esta información es transmitida a las estructuras corticales a través de receptores especializados, como los corpúsculos de Meissner, Pacini, discos de Merkel y corpúsculos de Ruffini, que informan al sistema nervioso central sobre el tacto, la presión, la vibración y la tensión cutánea (67).

Por otro lado, el sistema sensoriomotor opera de manera jerárquica, donde la corteza de asociación emite comandos generales, mientras que las neuronas motoras y los músculos se ocupan de los detalles específicos. Esta organización permite que las estructuras superiores se concentren en funciones complejas, generando una salida motora que se guía por la entrada sensorial y aprendiendo sobre los cambios en el control sensoriomotor (93). Además, el sistema sensoriomotor, que forma parte del sistema nervioso periférico, está relacionado con el control voluntario de los movimientos corporales a través de los músculos esqueléticos. Este sistema incluye nervios eferentes que estimulan la contracción muscular, abarcando todas las neuronas no sensoriales conectadas a los músculos esqueléticos y la piel. Así, la información sensorial desempeña un papel fundamental en la ejecución de las respuestas motoras (67).

En la siguiente Imagen , las flechas representan la dirección de la información eferente, mientras que los signos (+) y (-) indican activación e inhibición, respectivamente. La información de los sistemas visuales, propioceptivos, vestibulares y cutáneos se integra en los núcleos vestibulares, que son responsables de las conexiones vestíbulo-ocular, vestíbulo-espinal y vestíbulo-cerebelosa. La oculomotricidad se regula a través de reflejos vestíbulo-oculares y viso-oculares. A nivel espinal, las neuronas facilitadoras e inhibidoras controlan los reflejos tendinosos, de estiramiento, así como los reflejos de flexión y extensión. La excitabilidad espinal se puede medir con el reflejo H. El comando motor voluntario requiere la colaboración de los ganglios basales (selección del movimiento), el cerebelo (control del movimiento) y la corteza motora (activación del tracto corticoespinal), formando así el centro de control del equilibrio postural. La activación de los músculos extensores del cuerpo asegura la función postural, mientras que sus antagonistas son inhibidos por neuronas a través del reflejo de inhibición recíproca. La musculatura axial es

regulada por los tractos reticuloespinal y vestibuloespinal, así como por una parte de la vía piramidal, mientras que la musculatura distal es controlada por los núcleos rojo y el tracto rubroespinal para acciones motoras finas. En resumen, las respuestas posturales automáticas son principalmente gestionadas por estructuras subcorticales (94).

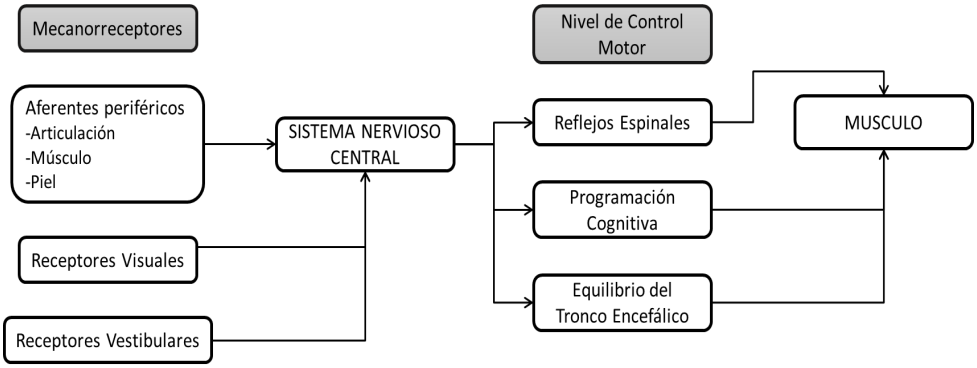
Figura 19. *Representación de los elementos clave de la función postural y su interacción funcional*



Fuente: tomado y modificado de Paillard (94)

La propiocepción se logra a través de estímulos aferentes de receptores ubicados en la cápsula articular, músculos, tendones, ligamentos, estructuras intraarticulares (como los meniscos) y la piel. Estos receptores incluyen mecanorreceptores, que detectan posición y movimiento, y nociceptores, que transmiten el dolor (95).

Figura 20. *Representación de la Vía de control neuromuscular*



Fuente: tomado y modificado de Gülenç (95)

Tras una lesión y un periodo de inmovilización, el sistema nervioso central puede perder la capacidad de integrar información sensorial de mecanorreceptores y otras señales. El Control Neuromuscular es la habilidad del sistema nervioso para procesar la información sensorial, lo que permite coordinar el movimiento y asegurar la estabilidad de las articulaciones, además de que la mente guía al cuerpo en la ejecución consciente de movimientos específicos (96, 97). Esto puede lograrse por medio de práctica repetida, comenzando con movimientos simples y avanzando a los más complejos. Es esencial realizar ejercicios de fortalecimiento funcional para restablecer patrones sensoriales aprendidos y ajustar la ejecución del movimiento según la intención.

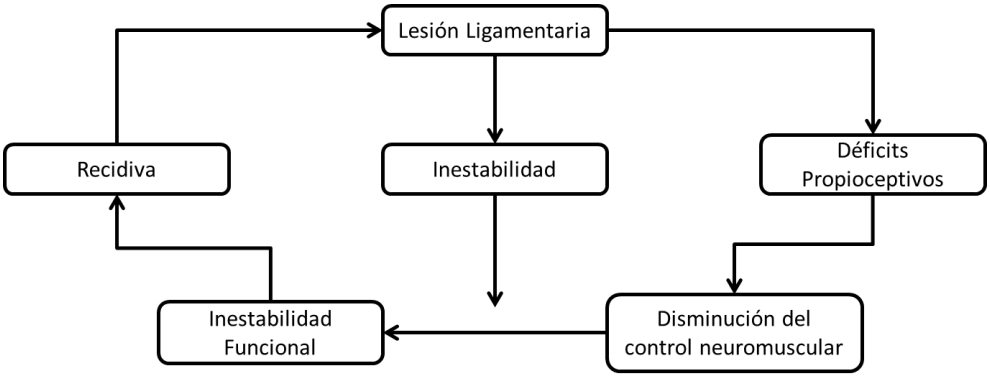
El restablecimiento del control neuromuscular es fundamental en la rehabilitación de articulaciones patológicas, ya que ayuda a los deportistas a reconectar con las sensaciones periféricas y a procesar estas señales para realizar movimientos más coordinados. Esto protege las articulaciones de tensiones excesivas y previene lesiones recurrentes. Las actividades de control neuromuscular complementan tratamientos tradicionales que abordan el dolor, la inflamación y la restauración de la flexibilidad, fuerza y resistencia, así como aspectos psicológicos (97).

Los mecanorreceptores en las estructuras articulares son esenciales para este control, ya que envían información sobre movimiento y posición al sistema nervioso central. Las estructuras como cápsulas y ligamentos no solo estabilizan los segmentos esqueléticos, sino que también detectan movimiento y posición. Lesiones en estas áreas pueden provocar laxitud articular y pérdida

de sensibilidad, afectando la realimentación necesaria para un control neuromuscular adecuado (97).

La patología articular puede comprometer la estabilidad mecánica y funcional. Por ejemplo, algunos pacientes con ligamento cruzado anterior (LCA) deficiente pueden funcionar bien a pesar de la inestabilidad, mientras que otros con LCA reconstruido pueden sentir inestabilidad funcional a pesar de la estabilidad mecánica. La cirugía reconstructiva y la rehabilitación pueden favorecer la reinervación del injerto y mejorar las características neuromusculares.

Figura 21. El *paradigma de Estabilidad Funcional*



Nota. El paradigma de estabilidad funcional explica cómo la inestabilidad mecánica y los déficits en la propiocepción afectan el control neuromuscular y la estabilidad funcional, lo que aumenta el riesgo de lesiones recurrentes en la rodilla.

Fuente: *Tomado y modificado de Prentice* (97)

La estabilidad postural se logra mediante interacciones complejas entre diversos sistemas sensoriales, motores e integradores. En este contexto, la fuerza muscular, la sensación táctil y la propiocepción juegan un papel importante. En primer lugar, la capacidad de los músculos para generar la fuerza adecuada es esencial para mantener el equilibrio. Además, la propiocepción es clave para realizar movimientos coordinados, mantener una postura corporal adecuada y regular el equilibrio. Por otro lado, las articulaciones de la rodilla y el tobillo son fundamentales para el soporte de las extremidades inferiores, y la información propioceptiva que reciben es crucial para el control postural y la estabilidad articular (98).

La comunicación bidireccional entre los sistemas sensoriales y motores es fundamental para un control motor adecuado. En este contexto, la información visual se destaca como uno de los elementos más relevantes de la propiocepción. Además, la información proveniente del aparato vestibular, que indica la posición de la cabeza en relación con la gravedad y los movimientos de esta, también juega un papel crucial. Por otro lado, los receptores somatosensoriales son otro sentido corporal significativo, ya que se encuentran en la piel, los músculos, las articulaciones, así como en los ligamentos y tendones. Estos receptores sensoriales proporcionan al SNC información sobre la deformación del tejido, lo que contribuye al control del movimiento (99).

Sistema Propioceptivo

El sistema propioceptivo incluye receptores nerviosos ubicados en el complejo musculotendinoso, los ligamentos y las articulaciones. Entre los más destacados se encuentran el huso muscular, que se relaciona con el reflejo miotático o de estiramiento, y los órganos Tendinosos de Golgi (OTG), que están asociados con el reflejo miotático inverso. Los mecanorreceptores en los ligamentos y la cápsula articular adquieren mayor importancia cuando hay daño en el complejo musculotendinoso.

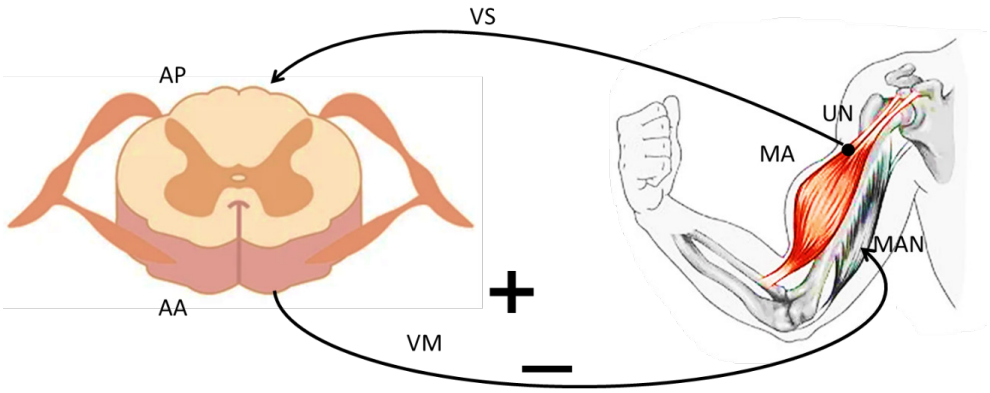
Los mecanorreceptores son neuronas especializadas que convierten la deformación mecánica, como la rotación articular provocada por cambios de posición y movimiento, en señales eléctricas. Existen cinco tipos de mecanorreceptores, cada uno de los cuales responde a distintos estímulos y envía información aferente específica que influye en la función neuromuscular. Para que estos receptores actúen, requieren un estímulo que altere su potencial de membrana, lo que genera un potencial de acción que se transmite al sistema nervioso central (SNC). Además, los mecanorreceptores pueden ser activados por variaciones en la longitud muscular, incluyendo la velocidad de cambio en la tensión y la longitud (99).

Estos receptores detectan la tensión y el estiramiento muscular, enviando esta información a la médula espinal y al cerebro para su procesamiento. Posteriormente, el cerebro envía señales a los músculos para realizar los ajustes necesarios en tensión y estiramiento, facilitando así el movimiento deseado. En resumen, los mecanorreceptores son parte de un mecanismo de control del movimiento que opera de manera subconsciente y refleja, permitiendo respuestas rápidas y automáticas (100).

Los propioceptores, también llamados mecanorreceptores, se describen a continuación:

- **Huso Muscular:** es un receptor sensorial ubicado dentro del músculo, que se activa ante estiramientos significativos. Su función principal es medir la longitud del músculo, el grado de estimulación mecánica y la velocidad del estiramiento, enviando esta información al SNC. Clásicamente, su papel es inhibir la musculatura antagonista durante un movimiento, permitiendo así que este se realice de manera eficiente. En situaciones de estiramiento rápido, los husos generan una contracción refleja del músculo, conocida como reflejo miotático o de estiramiento, que actúa como un mecanismo de protección ante estiramientos bruscos, como en el caso de un tirón en el hombro (100).

Figura 22. *Representación del Reflejo Miotático*



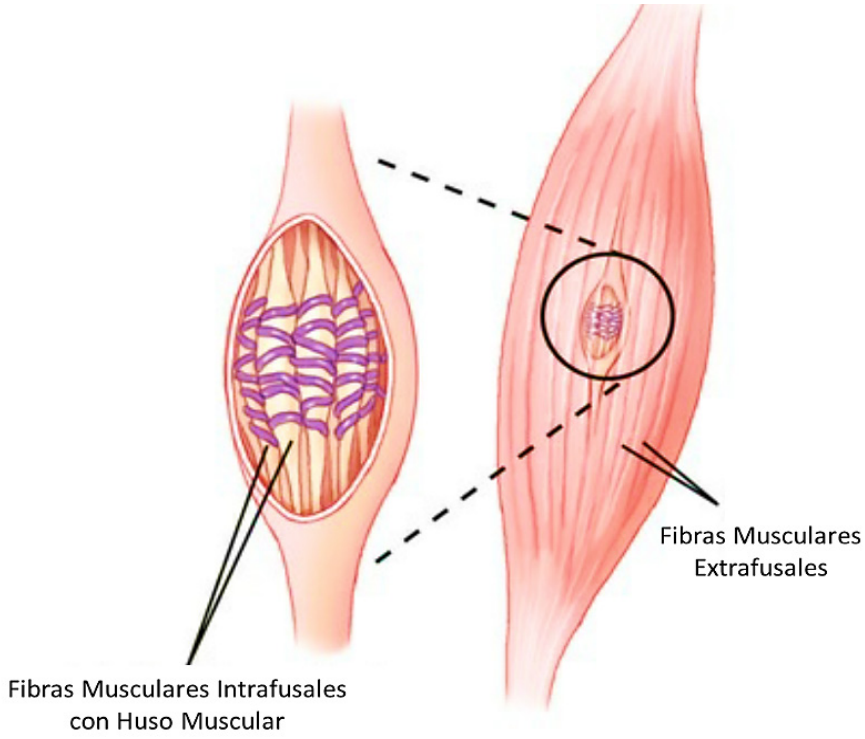
Nota. VS: vía Sensitiva; VM: Vía Motora; AA: Asta Anterior; AP: Asta Posterior; MA: Músculo Agonista; MAN: Músculo Antagonista; UN: Uso Muscular.

Fuente: tomado y modificado de Tarantino (100)

Además, la información que los husos envían al SNC también estimula la musculatura sinergista, mejorando la contracción muscular. Este principio es utilizado en técnicas de facilitación neuromuscular en rehabilitación, como las técnicas de Kabat, que se basan en que un músculo preestirado puede contraerse con mayor fuerza. En esencia, el huso muscular compara su longitud con la del músculo circundante y está compuesto por entre 2 y 12 fibras musculares esqueléticas especializadas, llamadas fibras intrafusales. Estas fibras, que no contienen actina ni miosina en su porción central, no pueden contraerse, pero generan tensión sobre el huso (101).

Las fibras intrafusales se dividen en dos tipos: las fibras de bolsa nuclear, que actúan como medidores de sensibilidad del músculo, y las fibras de cadena nuclear, que tienen una fila de núcleos y están conectadas a las fibras de bolsa. Mientras que las neuronas motoras alfa inervan los músculos, los husos musculares cuentan con un suministro motor propio a través de neuronas motoras gamma. La estimulación del huso puede ocurrir de dos maneras: estirando todo el músculo, lo que activa la porción media del huso, o contrayendo solo la parte final de las fibras intrafusales, lo que también excita el receptor sin necesidad de cambiar la longitud del músculo (101).

Figura 23. *Ubicación y Estructura del Huso Muscular en Relación con las Fibras Musculares Extrafusales*

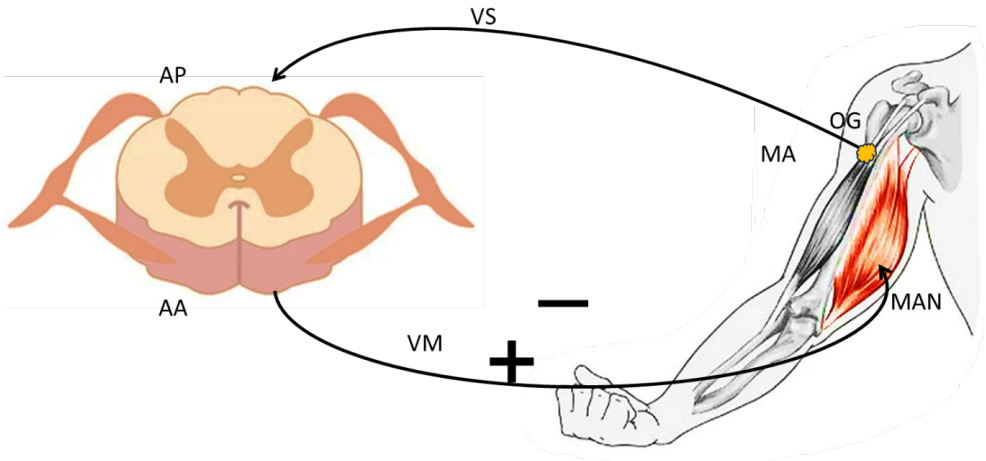


Fuente: tomado y modificado de Muscolino (102)

- **Órgano Tendinoso de Golgi:** Los OTG son receptores sensoriales ubicados en los tendones, que desempeñan un papel crucial en la medición de la tensión generada por los músculos. Se activan principalmente ante tensiones peligrosas, especialmente cuando estas son generadas

activamente por el sujeto, actuando como un mecanismo de protección que provoca la relajación de las fibras musculares en respuesta a excesos de tensión. Este proceso se conoce como reflejo miotático inverso. A diferencia del huso muscular, que responde de manera inmediata, los OTG requieren un período de estimulación de aproximadamente 6 a 8 segundos para inducir la relajación muscular (102).

Figura 24. *Representación del Reflejo Miotatico Inverso*

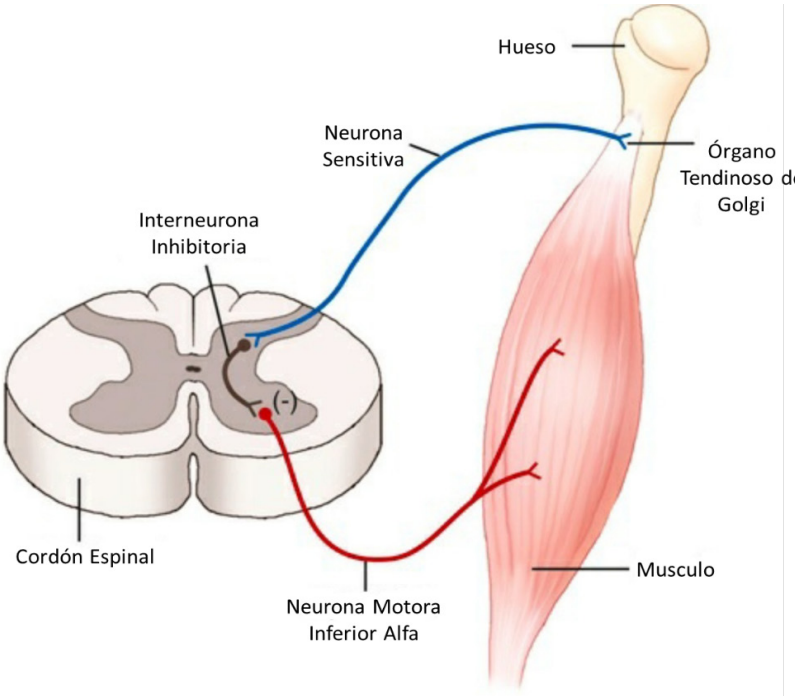


Nota. VS: Vía Sensitiva; VM: Vía Motora; AA: Asta Anterior; AP: Asta Posterior; MA: Músculo Agonista; MAN: Músculo Antagonista; UN: Uso Muscular.

Fuente: tomado y modificado de Tarantino (100)

Los OTG están dispuestos en serie con las fibras musculares extrafusales, lo que les permite enviar información al SNC sobre la tensión muscular a lo largo de todo el rango de movimiento, no solo en sus extremos. Además, cumplen una función protectora al facilitar la inhibición adecuada en momentos críticos, como al cambiar de movimientos de flexión a extensión durante actividades como caminar o correr. Durante la fatiga, la producción de fuerza muscular disminuye, lo que a su vez reduce la actividad de los OTG y, por ende, la inhibición, permitiendo que el músculo genere más fuerza (100).

Figura 25. *Ilustración de las vías neuronales del reflejo del órgano tendinoso de Golgi*



Fuente: tomado y modificado de Muscolino (102)

Los OTG también están involucrados en un proceso conocido como inhibición autógena, que es la respuesta refleja de una unidad motora ante una tensión excesiva en las fibras musculares que inerva. Este mecanismo, que antes se consideraba exclusivo para prevenir lesiones, ahora se entiende que ocurre cuando la inhibición autógena supera la excitación del reflejo de estiramiento. En resumen, los órganos tendinosos de Golgi son esenciales para la regulación de la actividad muscular y la protección contra lesiones, al detectar la contracción del vientre muscular y responder a las fuerzas de tracción aplicadas sobre el tendón (101).

- **Los Corpúsculos de Pacini:** se encuentran alrededor de las cápsulas articulares, ligamentos, vainas de tendones y debajo de la piel, se activan ante cambios rápidos en el ángulo de la articulación y variaciones de presión en la cápsula. Sin embargo, esta activación es temporal y no es efectiva para detectar la presión constante. A pesar de esto, los corpúsculos de Pacini son valiosos para ofrecer información sobre la posición de una

parte del cuerpo en el espacio tras movimientos rápidos, como al correr o saltar (57).

- **Los corpúsculos de Ruffini:** situados en las capas profundas de la piel y en la cápsula articular, se activan ante movimientos articulares intensos y repentinos, así como por variaciones de presión (57).
- **Los corpúsculos de Meissner y los bulbos terminales de Krause:** localizados en la piel y en los tejidos subcutáneos, son esenciales para la recepción de estímulos táctiles (57).

Para restaurar el control neuromuscular y la estabilidad funcional, es crucial trabajar en la sensibilidad articular, la estabilidad dinámica, las características musculares y los patrones de movimiento.

Los deportistas que han sufrido daños en las estructuras articulares de las extremidades, tanto superiores como inferiores, presentan déficits característicos en propiocepción y función neuromuscular. La alteración de las estructuras articulares provoca la desaferenciación de los mecanorreceptores en los ligamentos y, posiblemente, en la cápsula articular. Durante la fase aguda de curación, la inflamación y el dolor en las articulaciones pueden agravar los déficits sensoriales; sin embargo, esto no explica los déficits crónicos en propiocepción que se observan en articulaciones patológicas. Estas características propioceptivas, junto con la inestabilidad mecánica, pueden resultar en inestabilidad funcional (103).

El desarrollo o restablecimiento de la propiocepción y el control neuromuscular en deportistas lesionados es fundamental para reducir el riesgo de nuevas lesiones. El objetivo de la rehabilitación neuromuscular es mejorar las características aferentes y eferentes que optimizan las capacidades de restricción dinámica frente a las cargas in vivo (103). Para lograr un control neuromuscular efectivo y estabilidad funcional, se identifican cuatro elementos clave:

1. La sensación propioceptiva
2. La estabilización articular dinámica
3. El control neuromuscular reactivo
4. Los patrones motores funcionales

En articulaciones patológicas, estos mecanismos dinámicos pueden verse afectados por la desaferenciación, lo que puede resultar en una articulación que, aunque funcionalmente estable, no opera de manera óptima.

Diversas características aferentes y eferentes, como la sensibilidad de los mecanorreceptores y la coactivación de músculos agonistas y antagonistas, son esenciales para mantener un control neuromuscular eficiente (103).

La plasticidad del sistema neuromuscular permite cambios rápidos durante la rehabilitación, mejorando la actividad muscular tanto preparatoria como reactiva. Estas técnicas incluyen actividades de cadena cinética abierta y cerrada, entrenamiento de equilibrio, ejercicios excéntricos y de alta repetición/baja carga, así como facilitación refleja a través de entrenamiento reactivo.

Propiocepción y Fuerza

Estas dos variables están interrelacionadas. El aumento de la fuerza se origina en una estimulación neuromuscular. Aunque a menudo asociamos la fuerza con la masa muscular, es crucial recordar que esta última está controlada por el sistema nervioso. En este sentido, la mejora de la fuerza mediante el entrenamiento implica tanto adaptaciones funcionales, que se centran en aspectos neurológicos, como adaptaciones estructurales, que se relacionan con cambios físicos como la hipertrofia y la hiperplasia.

Asimismo, los procesos reflejos de la propiocepción están conectados con las mejoras funcionales en el entrenamiento de la fuerza. Estas mejoras se logran a través de la coordinación intermuscular, que se refiere a la interacción entre diferentes grupos musculares durante un movimiento específico, y la coordinación intramuscular, que implica la interacción de las unidades motoras dentro de un mismo músculo. Por último, la propiocepción, a través de procesos reflejos, mejora el control del reflejo de estiramiento y del reflejo miotático inverso, lo que puede generar adaptaciones en ambas coordinaciones, intermuscular e intramuscular (100).

Propiocepción y Flexibilidad

El reflejo de estiramiento, que se activa a través de los husos musculares ante un estiramiento excesivo, provoca una contracción muscular como mecanismo de protección, conocido como reflejo miotático. Sin embargo, si se realiza un estiramiento prolongado de manera gradual, se pueden anular estas respuestas reflejas y activar las respuestas del aparato de Golgi, que facilitan la relajación muscular. Esta relajación es fundamental para mejorar la flexibilidad, ya que permite aumentar la amplitud de movimiento durante el estiramiento (100).

Para potenciar aún más la respuesta del aparato de Golgi, se pueden emplear técnicas de estiramiento que incorporan mecanismos propioceptivos. Estas técnicas consisten en alternar breves períodos de contracción de los músculos agonistas que se desean estirar con períodos de relajación. Las contracciones generan tensión que activa los receptores de Golgi, lo que a su vez incrementa la relajación posterior y facilita un estiramiento más efectivo (100).

Propiocepción y Coordinación

La coordinación se refiere a nuestra habilidad para manejar situaciones inesperadas y variables, y su desarrollo depende de varios factores que pueden ser mejorados a través del entrenamiento propioceptivo. Este tipo de entrenamiento es fundamental, ya que se basa en la información somatosensorial (propioceptiva) que el cuerpo recoge en respuesta a estas situaciones, así como en la información proporcionada por los sistemas visual y vestibular (100).

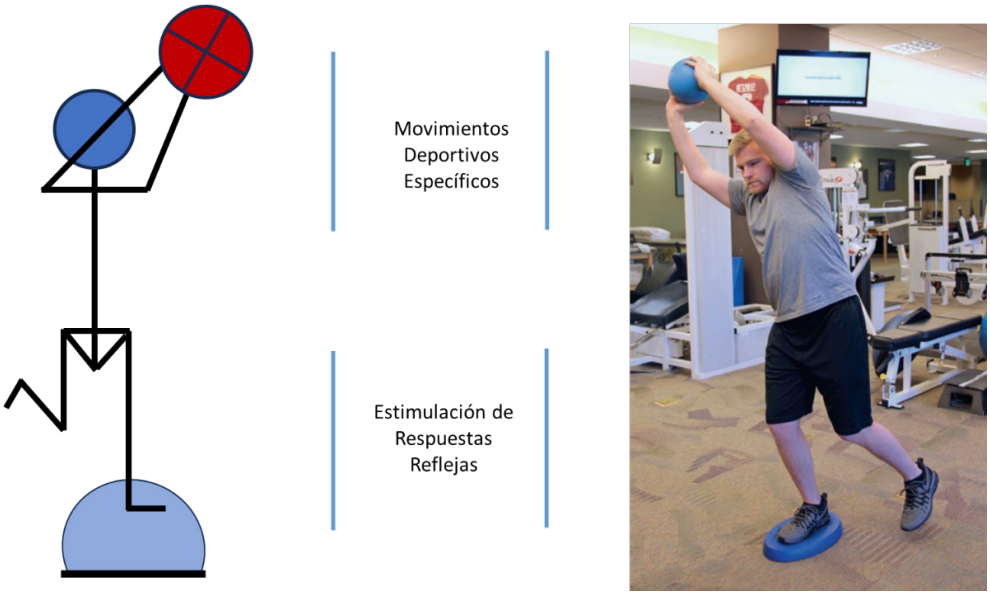
Es común que el entrenamiento propioceptivo se centre en una articulación específica, especialmente después de haber sufrido una lesión. Sin embargo, es fundamental considerar la participación global de los sistemas, tanto desde una perspectiva neurológica como del aparato locomotor, al diseñar el entrenamiento, especialmente en el ámbito deportivo. Esto es crucial debido a la complejidad y riqueza que implica la práctica de ciertos deportes, especialmente a nivel competitivo.

Como fisioterapeutas deportivos debemos tener en cuenta no solo la lesión que se está recuperando, sino también todos los sistemas involucrados y la coordinación de las articulaciones que contribuyen a la estabilidad de un movimiento específico. Por ejemplo, al reentrenar a un atleta tras una lesión en la rodilla, si realizamos un ejercicio en una superficie inestable, no solo debemos observar la respuesta de la rodilla, sino también la posición de las articulaciones adyacentes, como el tobillo y la cadera, que son esenciales para la estabilización. Además, es importante considerar la alineación de la pelvis y el tronco, la activación de los músculos del abdomen, la orientación de los hombros y la posición de la cabeza, ya que estas variables influyen en la estabilidad general del cuerpo.

Los mecanismos propioceptivos incluyen tanto vías inconscientes como conscientes. Por lo tanto, al diseñar ejercicios, es beneficioso trabajar ambas vías, incorporando secuencias establecidas y también alteraciones inesperadas en las posiciones articulares para estimular las respuestas reflejas. Por ejemplo, realizar una serie de movimientos específicos de un deporte mientras se

mantiene el equilibrio sobre una pierna en una superficie inestable integraría ambas vías neuronales. Un caso concreto podría ser recibir y pasar un balón mientras se está de pie sobre una pierna en una plataforma inestable, o golpear el balón con la pierna libre (100).

Figura 26. *Estimulación de vías conscientes e inconscientes*



Fuente: *Tomado y modificado de Tarantino* (100)

Mejorando la Propiocepción: Estrategias de Ejercicio para Miembros Inferiores y Superiores

Las técnicas de rehabilitación para las extremidades inferiores se enfocan en el control neuromuscular y la mejora de la mecánica articular. Se emplean métodos como el entrenamiento cinestésico y el reposicionamiento articular para restaurar las vías reflejas y aumentar la sensibilidad muscular. Se sugiere iniciar con ejercicios sin peso y avanzar hacia actividades asistidas, utilizando cadenas cerradas para simular entornos funcionales. Los ejercicios de estabilización dinámica deben comenzar en superficies estables y luego progresar a inestables, incluyendo actividades como patear. La biorretroalimentación ayuda a mejorar la activación muscular y el control neuromuscular. Los ejercicios de estiramiento-acortamiento son fundamentales y deben incluir actividades pliométricas a medida que avanza la rehabilitación.

En las etapas iniciales, se deben realizar ejercicios de estabilización rítmica y coordinación en plataformas inestables para desafiar el equilibrio. En las etapas finales, se integran saltos en trampolín y actividades complejas que mejoran la marcha y la activación muscular reactiva. La restauración de la marcha es esencial, utilizando espejos o instrucciones verbales para facilitar la cinemática adecuada.

Para las extremidades superiores, especialmente la articulación glenohumeral, es crucial mantener la estabilidad funcional mediante la activación muscular coordinada. Se identifican dos tipos de músculos en la cintura escapular: estabilizadores, como el manguito rotador, y motores primarios. Es vital equilibrar las fuerzas externas e internas para evitar la traslación excesiva de la cabeza humeral. Las lesiones en estructuras estáticas pueden afectar la retroalimentación sensorial y aumentar el riesgo de lesiones. Aunque la cirugía puede restaurar la función, el control neuromuscular se desarrolla a través de ejercicios de rehabilitación.

Se recomienda lograr el control escapular al inicio de la rehabilitación, incorporando ejercicios que promuevan la retracción escapular. Ejercicios como la rotación externa y la flexión en decúbito lateral son útiles para activar los músculos estabilizadores. Las actividades de cadena cinética cerrada, como cambios de peso y deslizamientos, mejoran la conciencia propioceptiva. También se deben incluir ejercicios pliométricos y de reposicionamiento articular para maximizar el rango de movimiento y fortalecer el manguito rotador.

Las actividades funcionales que combinan entrenamiento de fuerza, equilibrio y estabilidad central deben involucrar toda la cadena cinética, comenzando a velocidades lentas y controladas, y progresando hacia velocidades funcionales. Es crucial priorizar la técnica sobre la velocidad para asegurar patrones de activación muscular correctos y evitar mecánicas inadecuadas. La reeducación de los patrones motores es esencial para el control neuromuscular y la restricción dinámica, reduciendo el riesgo de lesiones al volver a la actividad. La velocidad y complejidad de los movimientos en la competencia atlética requieren una rápida integración de la información sensorial, y cualquier alteración en la cinemática articular puede afectar la estabilidad funcional (103).

Tarantino propone una serie de progresiones con relación a la recuperación propioceptiva (104):

Primera fase: Se busca restablecer el equilibrio y la estabilización dinámica de las articulaciones. Inicialmente, se realizarán ejercicios sin el uso de plataformas inestables, y posteriormente se incorporarán estas plataformas para mejorar el equilibrio.

Segunda fase: Se introducirán ejercicios de equilibrio que incluyan elementos de inestabilidad, trabajando en diferentes planos y realizando cambios de dirección.

Tercera fase: Se incrementará la intensidad de los ejercicios, aumentando las cargas de trabajo, así como las aceleraciones, desaceleraciones, cambios de dirección y giros, además de trabajar con un rango de movimiento articular más amplio.

Cuarta fase: En esta fase final, se aplicarán diversas variables de entrenamiento propioceptivo en condiciones que simulen la actividad deportiva específica del atleta.

Figura 27. *Progresión del entrenamiento propioceptivo*



Fuente: tomado y modificado de Tarantino (100) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

Core Stability (Núcleo Central)

La Estabilidad del Core o Estabilidad Central o Núcleo Central se ha vuelto fundamental en el fitness y la medicina deportiva, con beneficios como la mejora del rendimiento atlético, la prevención de lesiones y el alivio del dolor lumbar. El Core se puede visualizar como una caja muscular que incluye los abdominales, músculos paraespinales, glúteos, diafragma y musculatura del suelo pélvico, con 29 pares de músculos que estabilizan la columna y la pelvis (105).

El "núcleo", o complejo lumbopélvico-cadera, es un espacio tridimensional delimitado por estructuras musculares que incluyen el diafragma en la parte superior, los músculos abdominales y oblicuos en la parte anterior-lateral, los músculos paraespinales y glúteos en la parte posterior, y el suelo pélvico junto con la cintura pélvica en la parte inferior (106). Esta disposición muscular actúa como un corsé, proporcionando estabilidad al tronco y la columna. La estabilidad central se refiere a la capacidad de las articulaciones en la zona media del cuerpo, que abarca los hombros, el tronco, las caderas y la pelvis, junto con sus músculos y ligamentos, para resistir perturbaciones externas, como la gravedad, y mantener una postura adecuada en diferentes planos (frontal, sagital y transversal), tanto en situaciones estáticas como dinámicas (107).

La inestabilidad espinal severa se caracteriza por un desplazamiento radiográfico evidente de las vértebras, a menudo acompañado de déficits neurológicos y deformidades. En contraste, la inestabilidad funcional o clínica es más difícil de definir. Esta se refiere a la incapacidad de la columna para mantener sus patrones de desplazamiento bajo cargas fisiológicas, sin que haya déficits neurológicos, deformidades significativas o dolor incapacitante (105).

El sistema de estabilidad de la columna está compuesto por tres elementos interrelacionados: el control neuromuscular (elementos neurales), el subsistema pasivo (elementos óseos y ligamentosos) y el subsistema activo (elementos musculares). Esto implica que la estabilidad de la columna no depende únicamente de la fuerza muscular, sino también de la información sensorial que permite al sistema nervioso central percibir la interacción entre el cuerpo y el entorno, proporcionando retroalimentación constante para refinar el movimiento. Por lo tanto, un programa integral de estabilización del núcleo debe considerar tanto los componentes sensoriales como los motores para lograr una estabilización espinal óptima (105).

Anatómicamente, el núcleo se asemeja a una caja compuesta por huesos, ligamentos, músculos y nervios organizados en capas. La capa externa incluye músculos de fuerza, como el recto abdominal; la capa media está formada

por músculos abdominales y estabilizadores de la espalda; y la capa interna comprende músculos intersegmentarios y estructuras propioceptivas, como los multífidos y los nervios. Esta configuración no solo proporciona estabilidad a la columna, sino que también permite el movimiento en múltiples planos y facilita la transferencia de energía durante la actividad física (108).

La estabilidad del Core es fundamental para optimizar el rendimiento deportivo y prevenir lesiones, ya que permite un control efectivo del tronco, estabiliza la postura y actúa como una base sólida para la transferencia de fuerza entre las extremidades. En el ámbito deportivo, el Core ofrece "estabilidad proximal para la movilidad distal", siendo vital en situaciones de inestabilidad espinal, que puede manifestarse de manera severa con desplazamientos vertebrales o de forma funcional sin déficits neurológicos. Esta estabilidad se logra a través de la interacción entre el control neuromuscular y los subsistemas pasivos (huesos y ligamentos) y activos (músculos), lo que resalta la importancia tanto de la fuerza muscular como de la información sensorial para ajustar el movimiento. Así, los músculos del tronco y la pelvis son esenciales para mantener la estabilidad de la columna y la pelvis, así como para la generación y transferencia de energía en diversas actividades deportivas (105, 107, 109).

Tabla 10. *Grupo de Músculos del Core*

Músculos Anteriores del Core	**Músculos Laterales del Core**
Recto Abdominal	Glúteo Máximo
Oblicuo Externo	Glúteo Mínimo
Oblicuo Interno	Glúteo Medio
Transverso del Abdomen	Oblicuo Externo
Músculos posteriores del Core	Oblicuo Interno
Grupo erector de la espina	Transverso Abdominal
Iliopsoas	**Músculos Superiores del Core**
Cuadrado Lumbar	Diafragma
Multífidos	**Músculos del piso del Core**
Fascia Toracolumbar	Diafragma Pélvico/Músculos del Piso Pélvico

Fuente: tomado y modificado de Malanga (108)

Beneficios del Entrenamiento del Core

Los beneficios del entrenamiento de estabilidad del Core incluyen:

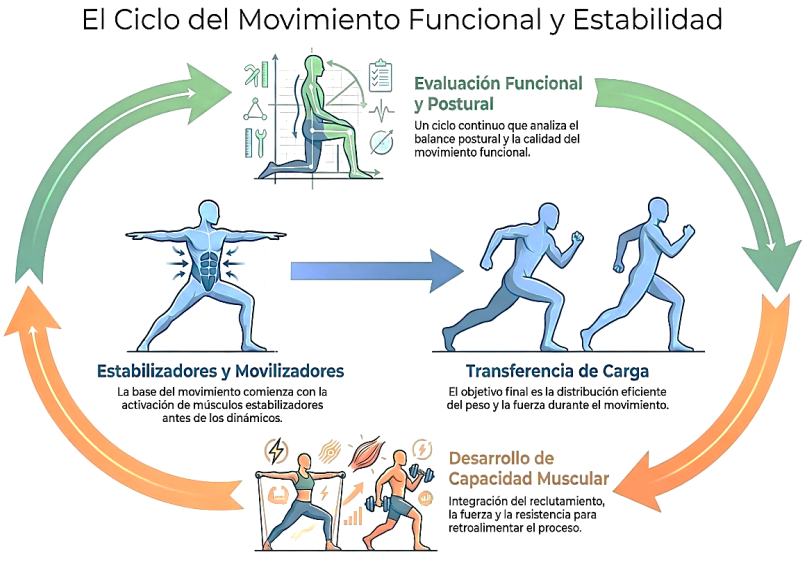
1. Mejora la postura y ayuda a mantener una alineación pélvica correcta.
2. Aumenta la fuerza de las correas musculares funcionales que conectan el núcleo superior e inferior.
3. Mejora la conciencia cinestésica, lo que ayuda a centrar la articulación y absorber el estrés.
4. Aumenta la estabilidad en una posición funcional de cadera extendida.
5. Mejora la capacidad de contrarrotar o disociar el torso superior e inferior y las extremidades.
6. Mejora el equilibrio dinámico y la eficiencia del movimiento.
7. Agrega vectores de fuerza adicionales de resistencia a los métodos de entrenamiento tradicionales.
8. Ayuda a mejorar el rendimiento atlético y permite al cuerpo reaccionar ante eventos inesperados.
9. Proporciona ejercicios que son versátiles, prácticos, transportables y asequibles.

Evaluación Funcional del Core

Los programas de prevención enfocados en la estabilidad del núcleo buscan mejorar el reclutamiento de los músculos estabilizadores locales y globales, así como los movilizadores y los de transferencia de carga. Esto se logra restaurando la fuerza y resistencia muscular, y recuperando la postura y el equilibrio mediante la regulación del sistema de control neuromuscular, lo que resulta en mejoras generales en la función. Para desarrollar estos programas, es fundamental identificar primero los factores de riesgo y los déficits específicos (110).

Evaluar con precisión esta estabilidad también presenta desafíos, ya que existen numerosas pruebas que la miden, muchas de las cuales son confiables y válidas. Estas pruebas suelen centrarse en diferentes aspectos de la estabilidad del núcleo, como el reclutamiento muscular, la fuerza, la resistencia, el control postural, el equilibrio y los patrones de movimiento.

Figura 38. *Componentes Funcionales del Core*



Fuente: Tomado y modificado de Huxel (106) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

Reclutamiento Muscular

La evaluación más básica de la función muscular central consiste en determinar si un atleta puede realizar una contracción voluntaria de los músculos centrales, específicamente del transverso abdominal y del músculo multifido lumbar. Se ha observado que en individuos con dolor lumbar (LBP) o con estabilidad central comprometida, existen patrones de reclutamiento alterados de estos músculos. Además, las respuestas reflejas musculares del tronco pueden ser una condición preexistente, en lugar de una adaptación que surge tras el inicio del LBP.

Evidencias preliminares indican que el control neuromuscular de los músculos del tronco se reorganiza en la corteza motora de aquellos que padecen LBP, y que el reclutamiento selectivo de los músculos flexos se asocia con niveles de activación más altos. Para evaluar la contracción voluntaria del transverso abdominal, se palpan los músculos profundos, situados medial e inferiormente a las espinas ilíacas, justo al lado del recto abdominal, mientras el atleta realiza una contracción sin tomar una respiración profunda. Por otro lado, la evaluación del músculo multífido se lleva a cabo con el deportista en

posición prona, palpando los músculos paraespinales durante la contracción. Sin embargo, debido a la profundidad del multifido, esta evaluación puede resultar difícil de realizar clínicamente. Estas pruebas iniciales son útiles para identificar a los deportistas con reclutamiento o función muscular anormal, lo que puede señalar la necesidad de una evaluación más detallada (106).

Fuerza y Resistencia Muscular

Además de evaluar la contracción voluntaria de los músculos centrales, existen diversas pruebas que miden la fuerza y resistencia del núcleo. Entre las más utilizadas por los médicos se encuentran el puente lateral (derecho e izquierdo), la prueba de resistencia de los flexores y la prueba de resistencia de los extensores.

La prueba de resistencia extensora, adaptada de la prueba de Biering-Sorenson, consiste en colocar al atleta en posición prona, con la parte inferior del cuerpo fijada a una mesa y la parte superior extendida sobre el borde. El atleta debe mantener una posición horizontal con los brazos cruzados sobre el pecho el mayor tiempo posible. En el puente lateral, el atleta se acuesta de lado y levanta las caderas, apoyándose sobre los pies y el codo flexionado. Por otro lado, la prueba de resistencia flexora se realiza con el atleta sentado, con las caderas y rodillas flexionadas a 90° y el torso en un ángulo de 60° respecto a la mesa, utilizando una correa para estabilizar los pies. En esta prueba, el objetivo es mantener la posición durante el mayor tiempo posible. Los tiempos de resistencia promedio y las proporciones entre las pruebas ayudan a interpretar los resultados (106).

Las evaluaciones de McGill se centran en medir la fuerza isométrica del core. En este contexto, la resistencia muscular puede ser un factor más relevante que la fuerza muscular en lo que respecta a la estabilidad del core (Prueba de resistencia extensora, Prueba de puente lateral y Prueba de resistencia de los flexores).

Imagen 19. *Evaluación del Núcleo Central (Prueba de McGill)*



Fuente: tomado y modificado de Huxel (106)

Evaluación del Movimiento Funcional

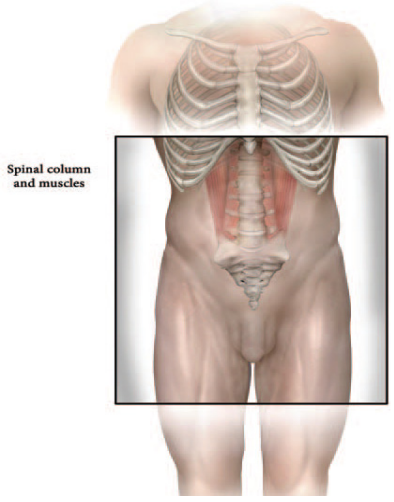
Las pruebas de reclutamiento muscular, fuerza y resistencia pueden ofrecer una visión limitada de la estabilidad central de un atleta, ya que no consideran su desempeño en diferentes cargas, posiciones y tareas. Recientemente, ha habido un cambio hacia la evaluación de patrones de movimiento, que proporciona una perspectiva más completa al examinar la estabilidad y movilidad, así como la capacidad funcional. La estabilidad del núcleo es fundamental para la

transferencia de carga en la cadena cinética y está relacionada con el control neuromuscular, la propiocepción, la estabilidad articular, la movilidad, la fuerza y el equilibrio (106).

El Functional Movement Screen (FMS) se ha desarrollado como una herramienta para detectar el riesgo de lesiones, identificando puntuaciones por debajo de 14 como indicadores de riesgo. Estudios han demostrado que programas de intervención que mejoran la movilidad y estabilidad del núcleo pueden optimizar los patrones de movimiento. Por ejemplo, en un estudio con bomberos, se observó una reducción del 62% en lesiones tras un programa de entrenamiento enfocado en la estabilidad del núcleo. En jugadores de fútbol profesional, se lograron mejoras en las puntuaciones FMS y una disminución en la asimetría. La confiabilidad del FMS sugiere que es una herramienta útil para evaluar el riesgo de lesiones en atletas. En resumen, es esencial adoptar un enfoque equilibrado que considere la fuerza muscular, la resistencia y el sistema sensoriomotor en diversas posturas para evaluar adecuadamente la estabilidad central (106).

Mecanismo Funcional del Núcleo y la Cadena Cinética

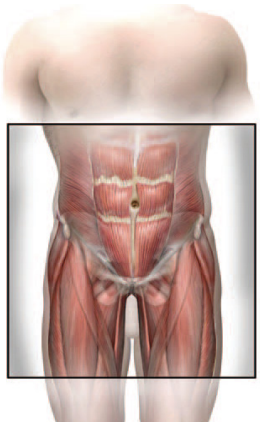
Para entender la función del núcleo, es crucial ver el cuerpo como un sistema interconectado de músculos, fascia y tejidos conectivos. Los patrones de contracción muscular permiten un movimiento coordinado en un espacio tridimensional, donde las extremidades se conectan al tronco, estabilizado por el núcleo. Este vínculo asegura que el movimiento de una parte del cuerpo influya en las demás, tanto del mismo lado como del opuesto.



Los movimientos son generados por fuerzas contráctiles en los músculos, que distribuyen energía de manera distal y proximal. Las áreas clave para esta transferencia incluyen la columna vertebral, la cadera, la pelvis y el tronco. Así, el núcleo actúa como un transmisor de fuerza desde las extremidades inferiores hacia el tronco. La activación de las extremidades se precede por una contracción inconsciente de los músculos centrales, destacando el papel del núcleo en la estabilización del tronco.



La teoría de la cadena cinética enfatiza la interrelación del movimiento musculoesquelético entre extremidades y tronco, como se observa en un lanzador que transfiere fuerza desde la extremidad inferior a la superior a través de un núcleo estabilizado. En un sistema óptimo, no hay puntos débiles en la transmisión de fuerzas. Sin embargo, interrupciones en esta cadena pueden llevar a compensaciones musculares, aumentando el riesgo de lesiones y afectando el rendimiento, especialmente en atletas con un núcleo débil (108).



Para comprender la interrupción de los patrones de movimiento en pacientes con dolor en las extremidades o en la región lumbar, es fundamental observar cómo estas lesiones afectan el control neuromuscular del núcleo y las extremidades. En particular, los atletas que presentan inestabilidad en las extremidades inferiores, como el tobillo o la rodilla, muestran un retraso en la activación del glúteo medio, que es crucial para la abducción de la cadera y la estabilidad del tronco, así como de los músculos abdominales anteriores. Esta disfunción en el control neuromuscular del núcleo interrumpe la cadena cinética, lo que resulta en patrones de activación muscular anormales y retardados, así como en una retroalimentación neuronal deficiente y una mala propiocepción. Como consecuencia, se incrementa la inestabilidad en la columna y en otras articulaciones.



Además, el núcleo no solo se encarga de generar o transmitir fuerza, sino que también proporciona estabilidad a la columna y a otras articulaciones. Para un funcionamiento óptimo, las articulaciones requieren fuerzas estabilizadoras de los músculos y retroalimentación propioceptiva de las neuronas. La aparición temprana de artritis o disfunción articular suele ser consecuencia de desalineación, movimientos indeseados y altos niveles de estrés de corte. Un núcleo fuerte, con suficiente resistencia y patrones adecuados de control neuromuscular, es esencial para mantener la estabilidad espinal. Los músculos como el diafragma, el suelo pélvico, y los oblicuos, al contraerse, aumentan la presión intraabdominal, lo que genera tensión en la columna y en la fascia toracolumbar, reduciendo la laxitud y proporcionando estabilidad a la columna lumbar. Este proceso es

comparable a inflar un neumático: al añadir aire, se incrementa la tensión en las paredes, evitando que el neumático se hunda y permitiendo un rodaje firme y eficiente (108).

Progresión de Ejercicios

Al comienzo, el enfoque del entrenamiento para mejorar la estabilidad en la zona central debe centrarse en aumentar tanto la fuerza como la resistencia de los músculos. Se puede iniciar con ejercicios que impliquen contracciones isométricas, enfatizando la importancia de mantener el control postural. Un ejercicio que el paciente puede realizar consiste en mantener una contracción isométrica del músculo transverso del abdomen, mientras respira de manera normal.

A medida que el paciente avanza, es fundamental que ejecute correctamente estos ejercicios. La progresión puede incluir la participación de los miembros inferiores o superiores, realizando deslizamientos sobre una superficie plana, todo mientras se mantiene la postura en decúbito prono. Un signo de que el paciente está realizando el movimiento de manera adecuada es la capacidad de mantener la curvatura natural de la zona lumbar. Si el paciente no puede sostener esta curvatura, se debe reducir la resistencia o carga aplicada.

La resistencia puede incrementarse de forma gradual, lo que aumentará la fuerza necesaria para realizar el movimiento, al mismo tiempo que se extiende la duración de los ejercicios, mejorando así la resistencia muscular.

Ejercicios como el lanzamiento del balón medicinal, ya sea en dirección vertical u horizontal, son ejemplos de actividades que se pueden incorporar en estas etapas de progresión. A continuación, se presentan varios ejercicios de estabilidad del núcleo central, basados en la posición de plancha. Esta posición puede ajustarse según la progresión del ejercicio y las capacidades del individuo. La intensidad del ejercicio se determina por el tiempo que se puede mantener la posición, comenzando con intervalos de 15 a 20 segundos en las primeras etapas del entrenamiento del núcleo central.

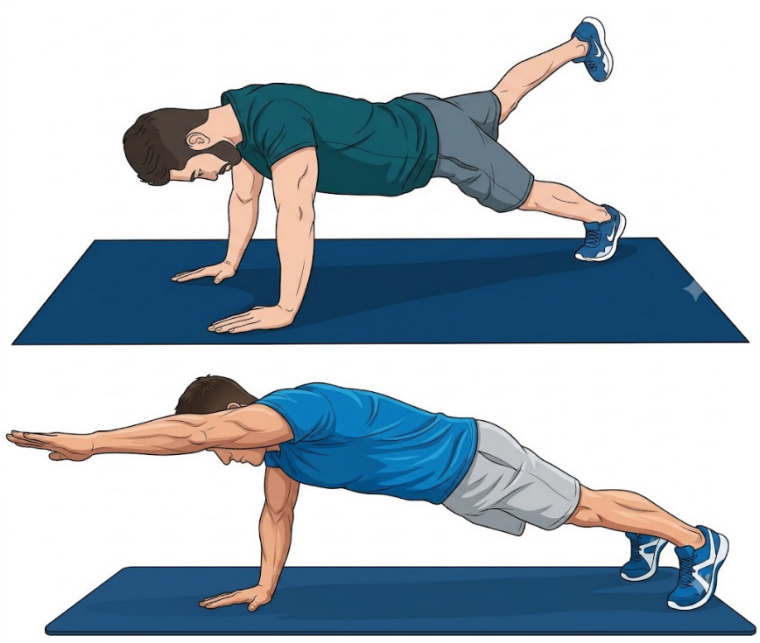
Imagen 20. *Plancha básica inicial*



Nota. La base de sustentación comprendida por los puntos de apoyo de las palmas de las manos y las puntas de los pies se puede ampliar por medio de la separación de estos últimos, promoviendo mayor estabilidad al individuo.

Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 21. *Progresión de la Plancha básica inicial*



Nota. La disminución de los puntos de apoyo exige un mayor control postural

Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 22. *Plancha con apoyo de antebrazos*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 23. *Progresión de la Plancha con apoyo de antebrazos*



Nota. La disminución de los puntos de apoyo exige un mayor control postural

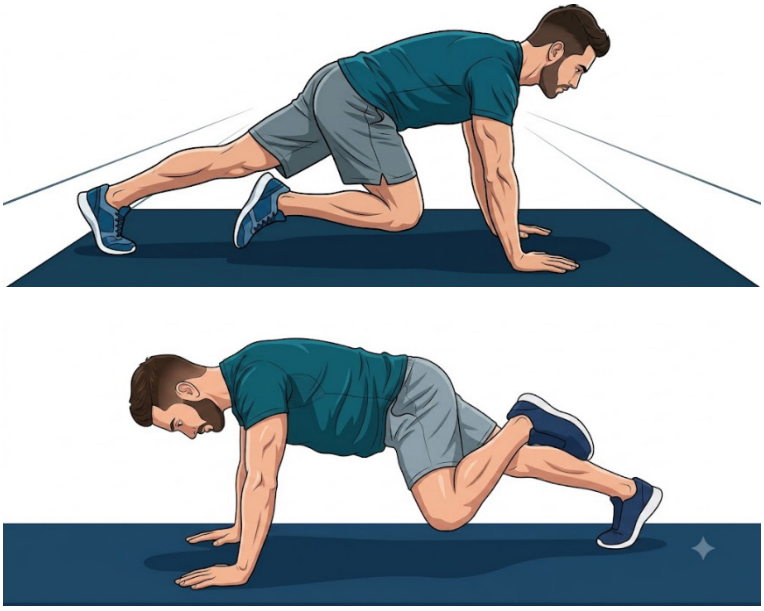
Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 24. *Progresión de la Plancha con apoyo cruzado*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 25. *Trabajo dinámico hacia los oblicuos*



Nota. El deportista realizara movimientos de miembros inferiores en Abd y Add de cadera. Podrá realizarse simultanea o alternado.

Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 26. *Plancha Lateral*

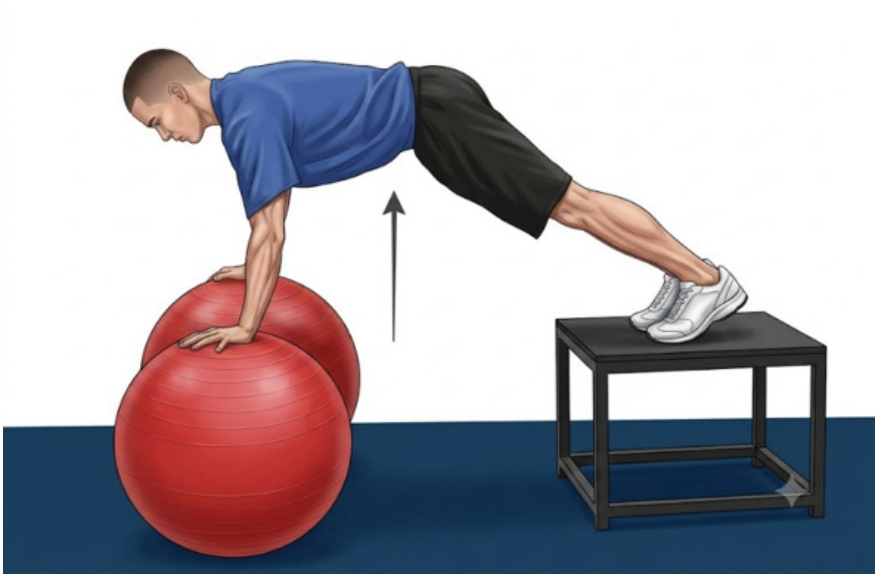




Nota. Se incorpora movimiento de miembro superior para reforzar el trabajo funcional de oblicuos.

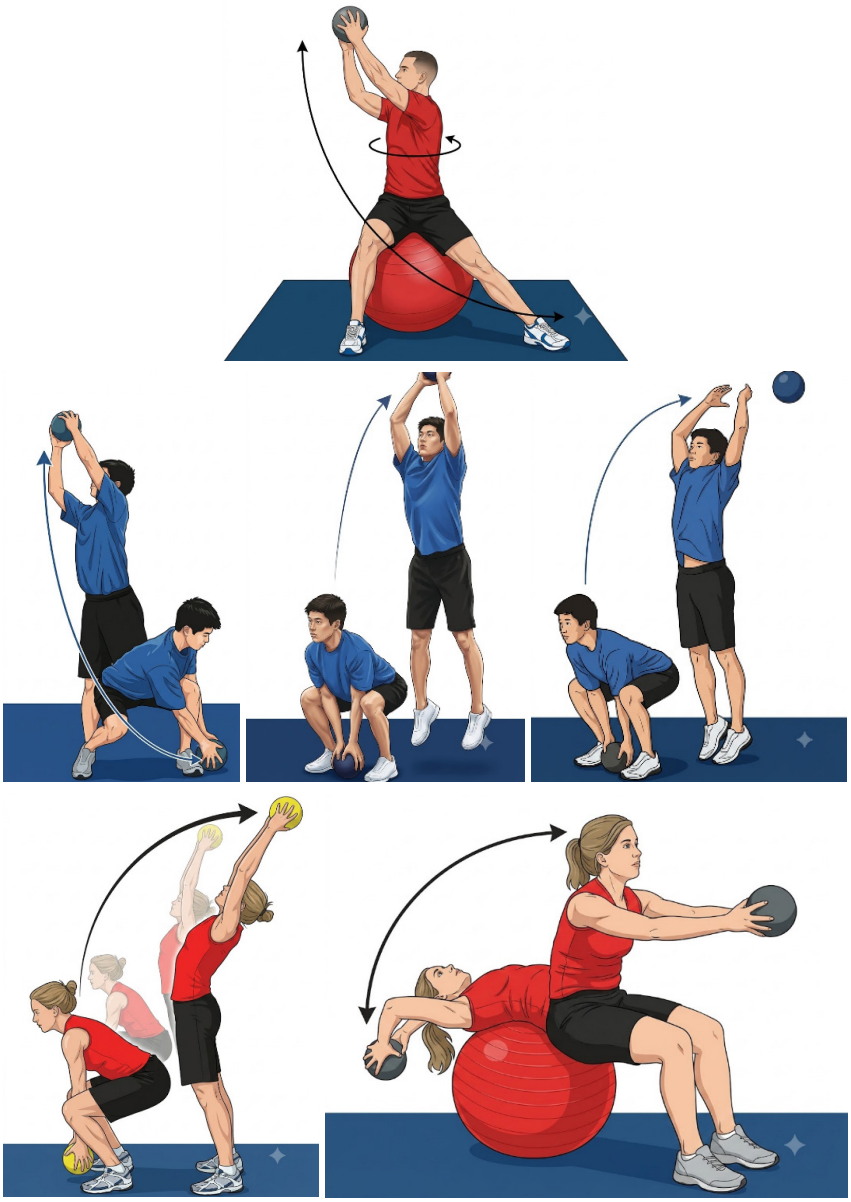
Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 27. *Entrenamiento Dinámico de Core con fitball*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 28. *Entrenamiento Dinámico de Core con balón medicinal*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Mantenimiento del Componente Cardiopulmonar

Tras una lesión musculoesquelética, los deportistas a menudo reducen su actividad física, lo que puede llevar a una rápida disminución de su resistencia cardiopulmonar. Por ello, es crucial que el fisioterapeuta deportivo desarrolle o ajuste actividades alternativas para que el individuo pueda preservar su capacidad aeróbica durante la rehabilitación. Además, la necesidad de mantener y mejorar la capacidad funcional se ha vuelto cada vez más clara, sin importar la gravedad de la lesión (111).

El sistema cardiopulmonar es fundamental para proporcionar oxígeno a los tejidos del cuerpo, lo que permite que las células realicen sus funciones vitales; sin este suministro, las células mueren. Además, el ejercicio es un proceso energético que impulsa la regulación de la oxidación de los sustratos metabólicos necesarios para la actividad física. El oxígeno facilita reacciones químicas que generan enlaces de alta energía en compuestos como el ATP, que es crucial para la transformación de energía. Durante el ejercicio, se requiere una rápida conversión de energía química en energía cinética a gran escala. Cuando se utilizan fuentes anaeróbicas alternativas para obtener energía, esta también debe ser compensada (111, 112).

Función Cardiovascular

El sistema cardiovascular está formado por el corazón, arterias, capilares y venas, y contiene entre 4,7 y 5,7 litros de sangre, que representa hasta el 8% del peso corporal de un adulto. Su función principal es garantizar que cada célula reciba oxígeno y nutrientes, impulsando la sangre mediante la contracción del ventrículo izquierdo a través de las arterias. En los capilares, se realiza el intercambio de oxígeno y nutrientes con los tejidos, mientras que se recogen desechos como el dióxido de carbono para su eliminación.

Este sistema es esencial en el deporte y la salud, ya que transporta el 98,5% del oxígeno unido a la hemoglobina y aporta nutrientes vitales para el cuerpo. También juega un papel importante en la respuesta inmunitaria, transportando glóbulos blancos a áreas infectadas, y regula la temperatura corporal mediante la dilatación y constricción de los vasos sanguíneos, adaptándose a las necesidades del organismo (113).

Función Pulmonar

El sistema pulmonar está compuesto por conductos de aire, vasos pulmonares, pulmones y músculos respiratorios, siendo los pulmones los principales

responsables del intercambio de gases. Este sistema se divide en dos áreas: las vías respiratorias (tráquea, bronquios y bronquiolos) y los alvéolos, donde se produce el intercambio de gases.

Las funciones clave del sistema pulmonar incluyen entregar oxígeno a las células y eliminar dióxido de carbono (CO_2). Además de la respiración, los pulmones regulan el equilibrio ácido-base, filtran embolias, producen inmunoglobulina A, almacenan sangre y eliminan impurezas mediante mucosidad y cilios. Al inhalar, el aire se calienta y humidifica, generando una presión parcial de oxígeno (PO_2) de ~150 mmHg al entrar por la tráquea (114).

Rol del Sistema Cardiovascular en la Respuesta al Ejercicio Intenso

Mecanismos de Vasodilatación y Regulación del Gasto Cardíaco

En estado de reposo, muchos capilares musculares presentan un flujo sanguíneo reducido, pero su función principal se activa durante el ejercicio intenso cuando se vasodilatan, facilitando el transporte de oxígeno y nutrientes a los músculos en contracción. Este proceso de vasodilatación se desencadena por una disminución de oxígeno en los tejidos, que es rápidamente utilizado por los músculos. En situaciones de hipoxia, se liberan sustancias como adenosina, que inician la vasodilatación, junto con otros compuestos como iones de potasio, ATP, ácido láctico y dióxido de carbono, que ayudan a mantener esta dilatación durante el ejercicio.

Al comienzo de la actividad, el cerebro no solo pone en marcha el movimiento a través de la corteza motora, sino que también activa el centro vasomotor del sistema nervioso simpático. Esto resulta en un aumento del gasto cardíaco y la presión arterial. La estimulación simpática incrementa la fuerza de contracción del corazón y la frecuencia cardíaca; dado que el gasto cardíaco se calcula multiplicando el volumen sistólico por la frecuencia cardíaca, la actividad efectiva del sistema simpático es fundamental para el rendimiento físico.

A su vez, los nervios simpáticos provocan vasoconstricción mediante la liberación de noradrenalina, lo que afecta principalmente a las arteriolas de la circulación periférica. Sin embargo, las arteriolas de los músculos activos son favorecidas por un efecto vasodilatador local, redirigiendo así el flujo sanguíneo y aumentando significativamente el suministro a los músculos, que puede alcanzar cerca de 2 litros por minuto. Además, sistemas circulatorios como los coronarios y cerebrales están protegidos de la vasoconstricción debido a su escasa inervación.

Las venas, que contienen aproximadamente dos tercios del volumen sanguíneo total, juegan un papel crucial en este proceso. La vasoconstricción venosa incrementa la presión de llenado venoso, mejorando el retorno de sangre al corazón, esencial para aumentar el gasto cardíaco y eliminar dióxido de carbono. Así, el aumento de la presión arterial sistémica favorece la perfusión muscular durante el ejercicio, mientras que el diámetro de los vasos asegura un alto flujo en arterias y arteriolas.

Por último, durante el ejercicio, los atletas de resistencia pueden necesitar hasta 35 litros por minuto de gasto cardíaco para sostener un alto nivel de actividad. Esto se logra a través de un incremento tanto en el volumen sistólico como en la frecuencia cardíaca. La regulación del volumen sistólico se basa en factores intrínsecos, como la relación de Frank-Starling, que ajusta la fuerza contráctil según el retorno venoso, y factores extrínsecos que inducen inotropía positiva mediante el sistema nervioso simpático, aprovechando los numerosos receptores β1-adrenérgicos en el miocardio que responden a adrenalina y noradrenalina (112).

Ventilación e Intercambio Gaseoso durante el Ejercicio

El oxígeno es fundamental para liberar energía en las células y regenerar el ATP. La ventilación desempeña un papel vital al asegurar un suministro adecuado de oxígeno y facilitar la eliminación de dióxido de carbono, elementos esenciales para mantener la homeostasis ácido-base. En condiciones saludables, los pulmones satisfacen fácilmente las demandas ventilatorias, alcanzando niveles de más de 100 l/min durante el ejercicio intenso, cuando en reposo se encuentran alrededor de 6 l/min. Este aumento en la profundidad y frecuencia de la ventilación no solo permite reponer oxígeno, sino que también es crucial para la eliminación de dióxido de carbono. Además, el control de la respiración durante el ejercicio involucra múltiples vías y reflejos neuroanatómicos complejos.

Cuando se acumula ácido láctico por encima del umbral anaeróbico, los iones de bicarbonato lo amortiguan inicialmente, lo que provoca un aumento en la concentración de dióxido de carbono. Este incremento es detectado por quimiorreceptores en los cuerpos carotídeos, que, a su vez, estimulan un incremento en la ventilación a través del centro respiratorio medular. Si la capacidad de amortiguación del ácido láctico se excede durante un ejercicio máximo, el pH sanguíneo disminuye, lo que actúa como un fuerte activador para la hiperventilación, mediada por los quimiorreceptores. Este aumento notable en la ventilación, que puede observarse en pruebas de ejercicio

cardiopulmonar, se denomina compensación respiratoria para la acidosis o umbral de compensación ventilatoria.

En ejercicios de baja intensidad, la ventilación aumenta inicialmente por un incremento en la profundidad de la respiración, conocido como volumen corriente. Una vez que este volumen alcanza entre el 50% y el 60% de la capacidad vital, se logra un aumento adicional en la frecuencia respiratoria. Así, la ventilación minuto (VE), que es el producto del volumen corriente y la frecuencia respiratoria, continúa en aumento hasta alcanzar la capacidad respiratoria máxima. Además, el intercambio de gases se optimiza durante el ejercicio mediante un incremento en la perfusión capilar pulmonar y un mejor reclutamiento alveolar, lo que resulta en una correspondencia más uniforme entre ventilación y perfusión. Esta mejora en el equilibrio de ventilación-perfusión depende no solo de un aumento en la superficie alveolar para el intercambio de gases, sino también de un adecuado retorno venoso al ventrículo derecho y de una correcta función ventricular derecha, junto con una vasculatura pulmonar receptiva (112).

Ejercicio Aeróbico: Guía de Práctica y Recomendaciones

El ejercicio aeróbico, que implica el movimiento de los grandes grupos musculares del cuerpo durante períodos prolongados, contribuye significativamente a la mejora de la aptitud cardiorrespiratoria. Este tipo de actividad, también conocido como ejercicio de resistencia o cardiovascular, abarca no solo el ejercicio continuo de intensidad moderada, sino también actividades anaeróbicas como el entrenamiento de intervalos de alta intensidad (HIIT) que también favorecen la condición cardiorrespiratoria.

Las formas comunes de ejercicio aeróbico incluyen correr, montar bicicleta, caminar a paso ligero, y la participación en deportes, especialmente de conjunto (115).

Estrategias para Mantener la Resistencia Cardiorrespiratoria

Existen diversas técnicas de entrenamiento que se pueden integrar en un programa de rehabilitación para preservar la resistencia cardiorrespiratoria. La lesión del deportista es un factor clave: si afecta la extremidad superior, se pueden realizar ejercicios que soporten peso, como caminar, correr y subir escaleras. En cambio, para lesiones en la extremidad inferior, es preferible optar por actividades sin soporte de peso, como nadar o andar en bicicleta estática. El objetivo principal del fisioterapeuta deportivo es asegurar que la resistencia cardiorrespiratoria se mantenga durante la rehabilitación, y los

principios de estas técnicas son aplicables en actividades como correr, nadar y subir escaleras, entre otras (111).

Frecuencia del Entrenamiento

El Colegio Estadounidense de Medicina del Deporte (ACSM) recomienda que la mayoría de los adultos realicen entrenamiento cardiorrespiratorio de intensidad moderada durante al menos 30 minutos al día, cinco días a la semana, alcanzando un total de 150 minutos semanales. Alternativamente, se sugiere realizar entrenamiento de intensidad vigorosa durante 20 minutos al día, al menos tres días a la semana (75 minutos semanales), o una combinación de ambos tipos de ejercicio que totalice entre 500 y 1000 MET/minutos por semana. Un deportista competitivo debe estar preparado para entrenar hasta seis veces por semana, aunque es esencial que todos incorporen al menos un día de descanso semanal para permitir la recuperación de los tejidos dañados (111).

Intensidad del Entrenamiento

La intensidad del ejercicio es un aspecto fundamental, aunque las recomendaciones pueden variar. Esto es especialmente relevante en las primeras etapas de entrenamiento, cuando el cuerpo debe adaptarse a nuevas cargas de trabajo. Según las pautas del ACSM, se recomienda mantener la intensidad del ejercicio entre el 55% y el 90% de la frecuencia cardíaca máxima, o entre el 40% y 85% de la reserva de consumo de oxígeno (VO2R) o de frecuencia cardíaca máxima. Para calcular la FCR y el VO2R, se determina la diferencia entre la frecuencia cardíaca y el VO2 en reposo y el máximo. Para estimar la intensidad, se suma un porcentaje de estos valores a la frecuencia cardíaca en reposo o al VO2 en reposo.

Para personas no entrenadas, los valores de intensidad más bajos (40%-49% del VO2R o frecuencia cardíaca máxima, y 55%-64% de la frecuencia cardíaca máxima) son más adecuados. Es crucial que el fisioterapeuta deportivo conozca los máximos individuales o utilice ecuaciones de predicción, aunque es preferible basarse en datos reales. Dada la relación entre frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno e intensidad, identificar una carga de trabajo específica que estabilice la frecuencia cardíaca es relativamente sencillo. Además, el fisioterapeuta deportivo debe considerar factores como el nivel de condición física, medicamentos, riesgo cardiovascular y objetivos del paciente antes de determinar la intensidad del ejercicio (111).

Tipo de Actividad

El entrenamiento de resistencia debe centrarse en actividades aeróbicas, que consisten en movimientos repetitivos que involucran grandes grupos musculares y requieren grandes cantidades de oxígeno, elevando y manteniendo la frecuencia cardíaca durante períodos prolongados. Ejemplos de estas actividades incluyen caminar, correr, trotar, andar en bicicleta, nadar, saltar la cuerda, hacer step, danza aeróbica, patinaje en línea y esquí de fondo.

Las actividades aeróbicas tienen la ventaja de que son más fáciles de regular en términos de intensidad, permitiendo ajustes en el ritmo para mantener la frecuencia cardíaca en un nivel objetivo. En contraste, las actividades intermitentes, como el ráquetbol, el squash, el baloncesto o el tenis, presentan cambios en velocidad e intensidad que provocan fluctuaciones significativas en la frecuencia cardíaca. Aunque estas actividades intermitentes también mejoran la resistencia cardiorrespiratoria, son más difíciles de controlar. Sin embargo, es importante destacar que cualquier actividad, desde jardinería hasta ejercicio aeróbico, puede contribuir a mejorar la condición física (111).

Tiempo (Duración)

Para lograr una mejora mínima, el deportista debe realizar al menos 20 minutos de actividad continúa manteniendo una frecuencia cardíaca elevada. El ACSM aconseja que la duración del entrenamiento sea de 20 a 60 minutos de actividad aeróbica, ya sea continua o intermitente, acumulando al menos 10 minutos por sesión a lo largo del día. La duración de la actividad depende de su intensidad: las actividades de menor intensidad requieren un tiempo más prolongado (30 minutos o más), mientras que aquellas de mayor intensidad deben realizarse durante al menos 20 minutos.

Se destaca que para favorecer la “aptitud física total”, las sesiones de ejercicio más largas son más efectivas, especialmente para adultos que no se entrenan para competir. En general, a mayor duración del entrenamiento, mayor será la mejora en la resistencia cardiorrespiratoria (111).

Entrenamiento en Intervalos de Alta Intensidad (HIIT)

A diferencia del entrenamiento de resistencia continuo, el entrenamiento en intervalos de alta intensidad incluye actividades más intermitentes. Este tipo de entrenamiento consiste en alternar períodos de esfuerzo intenso con fases de recuperación activa, lo que permite realizar más trabajo en un tiempo más

prolongado gracias a una carga de trabajo más intensa. Se recomienda que, en el entrenamiento de resistencia, el deportista trabaje a una intensidad entre el 60% y 80% de su frecuencia cardíaca máxima. Mantener esta intensidad de manera continua durante 20 minutos puede ser muy difícil.

La ventaja del entrenamiento en intervalos de alta intensidad es que permite al deportista alcanzar intensidades superiores al 80% durante intervalos cortos, seguidos de períodos de recuperación donde la intensidad puede disminuir a un 30% o 45% de la frecuencia cardíaca máxima. Esto facilita que tanto la intensidad como la duración del entrenamiento sean mayores en comparación con el entrenamiento de resistencia tradicional. Es fundamental considerar el período de entrenamiento (tiempo en actividad continua) y el período de recuperación (tiempo entre esfuerzos), así como la relación entre ambos.

Por ejemplo, en un entrenamiento en intervalos, un deportista podría pedalear en una bicicleta estática con 10 repeticiones de 20 segundos a máxima velocidad, seguidas de 90 segundos a un 40% de esa velocidad. Durante estos intervalos, la frecuencia cardíaca podría alcanzar entre el 85% y el 95% del máximo, reduciéndose al 35% al 45% durante la recuperación.

Es importante que los adultos mayores sean cautelosos al aplicar el entrenamiento en intervalos de alta intensidad, ya que los niveles de esfuerzo alcanzados durante los períodos activos podrían ser demasiado altos y presentar riesgos innecesarios (111).

Conclusiones

Un buen fisioterapeuta deportivo es aquel que analiza e identifica las necesidades específicas de cada deportista, adaptando las estrategias terapéuticas a sus condiciones individuales. Este proceso no solo implica la aplicación de técnicas y ejercicios, sino también una profunda comprensión del contexto en el que se desenvuelve el deportista, incluyendo su historia clínica, su nivel de competencia y sus objetivos personales.

Las herramientas terapéuticas son fundamentales para el desarrollo profesional del fisioterapeuta, ya que permiten implementar intervenciones efectivas y personalizadas. Sin embargo, el verdadero desafío radica en la capacidad del fisioterapeuta para integrar su conocimiento de la biomecánica, la anatomía y la fisiología básica en su práctica diaria. Este conocimiento no solo es esencial para la correcta aplicación de las herramientas, sino que también es crucial para la evaluación y el seguimiento del progreso del deportista.

La responsabilidad profesional del fisioterapeuta deportivo es cada vez más relevante en un contexto donde la demanda de atención especializada en el ámbito deportivo crece. Este rol no solo implica la rehabilitación de lesiones, sino también la promoción de la salud y el bienestar general del deportista. La capacidad de innovar y adaptar las estrategias a las circunstancias particulares de cada deportista es crucial, y el principal límite en este sentido es la creatividad del profesional.

Además, el fisioterapeuta debe ser consciente de su impacto en la vida del deportista, no solo en términos de recuperación física, sino también en su bienestar emocional y psicológico. La relación de confianza que se establece entre el fisioterapeuta y el deportista es fundamental para el éxito del proceso de rehabilitación. En este sentido, el fisioterapeuta debe actuar con ética y responsabilidad, asegurando que sus intervenciones sean siempre en beneficio del deportista.

En resumen, la rehabilitación y prevención de lesiones deportivas no solo dependen de la aplicación de técnicas y ejercicios, sino también de la habilidad del fisioterapeuta para comprender y responder a las necesidades del deportista. Este enfoque reflexivo y responsable asegura un proceso de recuperación óptimo y efectivo, reafirmando el papel crucial del fisioterapeuta en el ámbito deportivo contemporáneo.

Referencias

1. Dale B. Principles of Rehabilitation. En: Andrews J, Harrelson G, Wilk K. Physical Rehabilitation of the Injured Athlete. 4th edition. Edit. Elsevier. 2012. pag. 41-66

2. Jankaew A, Chen JC, Chamnongkich S, Lin CF. Therapeutic Exercises and Modalities in Athletes With Acute Hamstring Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis. Sports Health. 2023 Jul-Aug;15 (4):497-511. doi: 10.1177/19417381221118085.

3. Humphrey V, Colby L. Therapeutic Exercise: Foundational Concepts. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques. 6th edition. Edit. F.A. Davis Company. 2018 pág. 1-42

4. Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? Clin Rehabil. 2000 Aug;14 (4):402-6. doi: 10.1191/0269215500cr342oa.

5. Heyward V, Gibson A. Assessing Cardiorespiratory Fitness. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th Edition. Edit. Human Kinetics. 2014. pag. 79-119

6. Promsri A. Analysis of bilateral muscle coordination for characterizing neuromuscular function in postural control. MethodsX. 2022 Nov 28;9:101944. doi: 10.1016/j.mex.2022.101944.

7. Heyward V, Gibson A. Assessing Flexibility En: Heyward V, Gibson A. Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th Edition. Edit. Human Kinetics. 2014. P. 305-324

8. Comber L, Sosnoff J, Galvin R, Coote S. Postural control deficits in people with Multiple Sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Gait & Posture. 2018; Vol. 61: p. 445-452. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.018

9. Dunleavy K. Introduction to therapeutic exercise for rehabilitation. En: Dunleavy K, Slowik A, editors. Therapeutic exercise prescription. 1st ed. Amsterdam: Elsevier; 2019. p 2-11.

10. Fournier M. Principles of Rehabilitation and Return to sports Following Injury. Clin Podiatr Med Surg. 2015; Vol. 32: pag. 261-268. http://dx.doi.org/10.1016/j.cpm.2014.11.009

11. Bandy W, Sanders B, O´Kelley E, Taylor J. Introduction to Therapeutic Exercise. En: Therapeutic Exercise for Physical Therapist Assistants. Techniques for Intervention. 3rd Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2013 p. 2-14.

12. Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. Semin Arthritis Rheum. 2010 Dec;40 (3):250-66. doi: 10.1016/j.semarthrit.2009.10.001.

13. Colby L, Borstad J. Resistance exercise for Impaired Muscle Performance. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic Exercise. Foundations and Techniques. 7th edition. Edit. F. A. Davis Company. 2018. pag. 166-245

14. Prentice W. Essential Considerations in Designing a Rehabilitation Program for the Injured Patient. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. p. 3-22

15. Houglum P. Concepts of Rehabilitation. En: Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2017. Pag. 3-25

16. Buratovich M. Injury Treatments – Standard. En: Principles of Sports Medicine & Exercise Science. Edit. Salem Press. 2022. pag. 347-385

17. Dunleavy K, Slowik A. Exercise Prescription. Selection of Exercise Type and Parameters. En: Therapeutic Exercise Prescription. Edit. Elsevier. 2019. pag. 127-159

18. Prentice W. Joint Mobilization and traction Techniques in Rehabilitation. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 329-353

19. Lee BG, Cho NS, Rhee YG. Effect of two rehabilitation protocols on range of motion and healing rates after arthroscopic rotator cuff repair: aggressive versus limited early passive exercises. Arthroscopy. 2012 Jan;28 (1):34-42. doi: 10.1016/j.arthro.2011.07.012.

20. Qiu Z, Ma H. Rehabilitation exercise program after surgical treatment of patellar tendon rupture: A case report. Phys Ther Sport. 2024 Mar;66:17-24. doi: 10.1016/j.ptsp.2024.01.001.

21. Kisner C. Soft Tissue Injury, Repair, and Management. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic exercise Foundation and Techniques. Edit. F. A. Davis Company. 2018. pag. 321-335

22. Van Ark M, Cook JL, Docking SI, Zwerver J, Gaida JE, van den Akker-Scheek I, Rio E. Do isometric and isotonic exercise programs reduce pain in athletes with patellar tendinopathy in-season? A randomised clinical trial. J Sci Med Sport. 2016 Sep;19 (9):702-6. doi: 10.1016/j.jsams.2015.11.006.

23. Del Balso C, Cafarelli E. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. J Appl Physiol (1985). 2007 Jul;103 (1):402-11. doi: 10.1152/japplphysiol.00477.2006.

24. Pucci AR, Griffin L, Cafarelli E. Maximal motor unit firing rates during isometric resistance training in men. Exp Physiol. 2006 Jan;91 (1):171-8. doi: 10.1113/expphysiol.2005.032094.

25. Lee SEK, Lira CAB, Nouailhetas VLA, Vancini RL, Andrade MS. Do isometric, isotonic and/or isokinetic strength trainings produce different strength outcomes? J Bodyw Mov Ther. 2018 Apr;22 (2):430-437. doi: 10.1016/j.jbmt.2017.08.001.

26. Houglum P. Muscle Strength and Endurance. En: Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2017. pag. 175-219

27. Prentice W. Preventing Injuries Through Fitness Training. En: Essentials of Athletic Injury Management. 12th Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2023. pag. 46-85

28. Gidson A, Wagner D, Heyward V. Chapter 6: Assessing Muscular Fitness. En: Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. 9th Edition. Edit. Human Kinetics. 2024.

29. Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Flück M, Williams J, Mitchell WK, Selby A, Beltran Valls RM, Narici MV. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. Acta Physiol (Oxf). 2014 Mar;210 (3):642-54. doi: 10.1111/apha.12225.

30. Konow N, Roberts TJ. The series elastic shock absorber: tendon elasticity modulates energy dissipation by muscle during burst deceleration. Proc Biol Sci. 2015 Apr 7;282 (1804):20142800. doi: 10.1098/rspb.2014.2800.

31. Pakosz P, Konieczny M, Domaszewski P, Dybek T, Gnoiński M, Skorupska E. Comparison of concentric and eccentric resistance training in terms of changes in the muscle contractile properties. J Electromyogr Kinesiol. 2023 Dec;73:102824. doi: 10.1016/j.jelekin.2023.102824.

32. Hollander DB, Kraemer RR, Kilpatrick MW, Ramadan ZG, Reeves GV, Francois M, Hebert EP, Tryniecki JL. Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. J Strength Cond Res. 2007 Feb;21 (1):34-40. doi: 10.1519/R-18725.1.

33. Kraemer RR, Castracane VD. Endocrine alterations from concentric vs. eccentric muscle actions: a brief review. Metabolism. 2015 Feb; 64 (2): p. 190-201. doi: 10.1016/j.metabol.2014.10.024.

34. Piqueras-Sanchiz F, Martín-Rodríguez S, Martínez-Aranda LM, Lopes TR, Raya-González J, García-García Ó, Nakamura FY. Effects of moderate vs. high iso-inertial loads on power, velocity, work and hamstring contractile function after flywheel resistance exercise. PLoS One. 2019 Feb 7;14 (2):e0211700. doi: 10.1371/journal.pone.0211700

35. Prentice W. Regaining Muscular Strength, Endurance, and Power. En: Essentials of Athletic Injury Management. 12th Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2023. p. 237-259

36. Vincent KR, Vincent HK. Concentric and Eccentric Resistance Training Comparison on Physical Function and Functional Pain Outcomes in Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. Am J Phys Med Rehabil. 2020 Oct;99 (10):932-940. doi: 10.1097/PHM.0000000000001450.

37. Borysiuk Z, Konieczny M, Kręcisz K, Pakosz P, Królikowska B. Effect of six-week intervention program on postural stability measures and muscle coactivation in senior-aged women. Clin Interv Aging. 2018 Sep 12;13:1701-1708. doi: 10.2147/CIA.S167782.

38. Pakosz P, Konieczny M. Training induced fatigability assessed by sEMG in Pre-Olympic ice-skaters. Sci Rep. 2020 Aug 26;10 (1):14199. doi: 10.1038/s41598-020-71052-4.

39. Mendez-Villanueva A, Suarez-Arrones L, Rodas G, Fernandez-Gonzalo R, Tesch P, Linnehan R, Kreider R, Di Salvo V. MRI-Based Regional Muscle Use during Hamstring Strengthening Exercises in Elite Soccer Players. PLoS One. 2016 Sep 1;11 (9):e0161356. doi: 10.1371/journal.pone.0161356.

40. Hu C, Du Z, Tao M, Song Y. Effects of Different Hamstring Eccentric Exercise Programs on Preventing Lower Extremity Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2023 Jan 23;20 (3):2057. doi: 10.3390/ijerph20032057.

41. Paulsen G, Eidsheim HØ, Helland C, Seynnes O, Solberg PA, Rønnestad BR. Eccentric cycling does not improve cycling performance in amateur cyclists. PLoS One. 2019 Jan 2;14 (1):e0208452. doi: 10.1371/journal.pone.0208452.

42. Peake J, Nosaka K, Suzuki K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. Exerc Immunol Rev. 2005;11:64-85. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eir-isei.de/2005/eir-2005-064-article.pdf

43. Chen TC, Chen HL, Pearce AJ, Nosaka K. Attenuation of eccentric exercise-induced muscle damage by preconditioning exercises. Med Sci Sports Exerc. 2012 Nov;44 (11):2090-8. doi: 10.1249/MSS.0b013e31825f69f3.

44. Ong MT, Chan JS, Man GC, Qiu J, He X, Wang Q, Yung PS. Effect of eccentric isokinetic exercise on muscle strength and functional recovery

after anterior cruciate ligament reconstruction. Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol. 2023 Nov 24;35:20-26. doi: 10.1016/j.asmart.2023.11.002.

45. Mesnard G, Fournier G, Cance N, Magnussen R. Lustig S, Servien E. Isokinetic testing following ACL injury demonstrated a higher hamstrings/quadriceps ratio at 240°/s over 6 months from injury but no difference of limb symmetry index. Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation. 2024; https://doi.org/10.1016/j.asmr.2024.101063

46. Voss D. Ionta M, Myers B. Introduction. En: Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. Patterns and Techniques. 3rd Edition. Harper & Row, Publishers. 1985 Pag. 1-7

47. Beckers D, Buck M. Introduction. En: PNF in practice. An Illustrated Guide. 5th Edition. Edit. Springer. 2021. Pag. 2-15

48. Sipko T, Glibowski E. Immediate Effects of Single-Session Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Exercises on the Sit-to-Stand Strategy in Patients With Chronic Lumbar Spinal Disc Disease: A Preliminary Study. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics. 2022; Vol. 45 (6): pag: 415-424. https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2022.09.004

49. Arcanjo FL, Martins JVP, Moté P, Leporace G, Oliveira DA, Sousa CS, Saquetto MB, Gomes-Neto M. Proprioceptive neuromuscular facilitation training reduces pain and disability in individuals with chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis. Complement Ther Clin Pract. 2022 Feb;46:101505. doi: 10.1016/j.ctcp.2021.101505.

50. Alexandre de Assis IS, Luvizutto GJ, Bruno ACM, Sande de Souza LAP. The Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Concept in Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Chiropr Med. 2020 Sep;19 (3):181-187. doi: 10.1016/j.jcm.2020.07.003.

51. Prentice W. Open vs Closed Kinetic Chain Exercise in Rehabilitation. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 305-327

52. Palmitier RA, An KN, Scott SG, Chao EY. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. Sports Med. 1991 Jun;11 (6):402-13. doi: 10.2165/00007256-199111060-00005.

53. Khademi Kalantari K, Berenji Ardestani S. The effect of base of support stability on shoulder muscle activity during closed kinematic chain

exercises. J Bodyw Mov Ther. 2014 Apr;18 (2):233-8. doi: 10.1016/j.jbmt.2013.08.005.

54. Alashram AR. Effects of closed kinetic chain exercises on balance and gait in people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. J Bodyw Mov Ther. 2024 Oct;40:914-920. doi: 10.1016/j.jbmt.2024.06.013.

55. Farina GR, Arrivabene NC, Delunardo AR, Rinaldi NM. Acute effect of an intervention with open and closed kinetic chain muscle strength exercises on postural control and muscle power in elderly people: A randomized clinical trial. J Bodyw Mov Ther. 2024 Oct;40:992-1001. doi: 10.1016/j.jbmt.2024.07.016.

56. Plotkin D, Coleman M, Van Every D, Maldonado J, Oberlin D, Israetel M, Feather J, Alto A, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ. Progressive overload without progressing load? The effects of load or repetition progression on muscular adaptations. PeerJ. 2022 Sep 30;10:e14142. doi: 10.7717/peerj.14142.

57. Floyd R. Muscular analysis of selected exercises and related concept. En: Manual of Structural Kinesiology. 22nd Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2023. pag. 387-421

58. Charmoz A, Muscolino J. Principles of Strengthening Exercise. En: Kinesiology The Skeletal System and Muscle Function. 4th Edition. Edit. Elsevier. 2023. pag. 2468-2584

59. Heyward V, Gidson A. Principles of Assessment, Prescription, and Exercise Program Adherence. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th Edition. Edit. Human Kinetics. 2014. pag. 47-77

60. Pozzi F, Plummer HA, Sanchez N, Lee Y, Michener LA. Electromyography activation of shoulder and trunk muscles is greater during closed chain compared to open chain exercises. J Electromyogr Kinesiol. 2022 Feb;62:102306. doi: 10.1016/j.jelekin.2019.05.007.

61. Forelli F, Barbar W, Kersante G, Vandebrouck A, Duffiet P, Ratte L, Hewett TE, Rambaud AJM. Evaluation of Muscle Strength and Graft Laxity With Early Open Kinetic Chain Exercise After ACL Reconstruction: A Cohort Study. Orthop J Sports Med. 2023 Jun 27;11 (6):23259671231177594. doi: 10.1177/23259671231177594.

62. Huang PY, Jankaew A, Lin CF. Effects of Plyometric and Balance Training on Neuromuscular Control of Recreational Athletes with Functional Ankle

Instability: A Randomized Controlled Laboratory Study. Int J Environ Res Public Health. 2021 May 15; 18 (10):5269. doi: 10.3390/ijerph18105269.

63. Hansen D, Kenelly S. Physiological Mechanism of Plyometrics. En: Plyometric Anatomy. Your Illustrated guide to explosive power. Edit. Human Kinetics. 2017. p. 1-7

64. Chu D, Myer G. Anatomy and Physiology of Plyometrics. En: Plyometrics. Edit. Huma Kinetics. 2013. p. 13-25.

65. Draper N, Williams C, Marshall H. The Movement Systems. Skeletal and Muscular. En: Exercise Physiology. For Health and Sports Performance. 2nd Edition. Edit. Routledge Taylor & Francis Group. 2024. Pag. 119-163

66. Davies G, Riemann B. Current Concepts of Plyometric Exercises for the Lower Extremity. En: Noyes F, Barber-Westin S. Return to Sport after ACL Reconstruction and other Knee Operations. Limiting the Risk of Reinjury and Maximizing Athletic Performance. Edit. Springer. 2019. pag. 277-304

67. Kaya D. Description, Types, and Prescription of the Exercise. En: Functional Exercise Anatomy and Physiology for Physiotherapists. Edit. Springer. 2023. pag. 3-18

68. Voight M, Tippett S. Plyometric Exercise in Rehabilitation. En: Prentice W. Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 279-304

69. Colby L, Kisner C, Borstad J. Advanced Functional Training. En: Therapeutic Exercise. Foundations and Techniques. 7th Edition. Edit. F. A. Davis Company. 2018 pag. 905-937

70. Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernandez-Gonzalo R, Moreira OC, González-Gallego J, de Paz JA. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. J Sci Med Sport. 2017 Oct;20 (10):943-951. doi: 10.1016/j.jsams.2017.03.004.

71. Exerfly. Ultimate. Exerfly [Internet]. [fecha de acceso: 30/1272024]. Disponible en: https://exerflysport.com/ultimate/

72. Iberian Sportech. Versapulley portatil. Iberian Sportech [Internet]. [fecha de acceso: 30/12/2024]. Disponible en: https://www.iberiansportech.com/shop/versapulley-portatil/#iLightbox[product-gallery]/3

73. Buonsenso A, Centorbi M, Iuliano E, Di Martino G, Della Valle C, Fiorilli G, Calcagno G, di Cagno A. A Systematic Review of Flywheel Training Effectiveness and Application on Sport Specific Performances. Sports (Basel). 2023 Mar 30;11 (4):76. doi: 10.3390/sports11040076.

74. Annibalini G, Contarelli S, Lucertini F, Guescini M, Maggio S, Ceccaroli P, Gervasi M, Ferri Marini C, Fardetti F, Grassi E, Stocchi V, Barbieri E, Benelli P. Muscle and Systemic Molecular Responses to a Single Flywheel Based Iso-Inertial Training Session in Resistance-Trained Men. Front Physiol. 2019 May 9;10:554. doi: 10.3389/fphys.2019.00554.

75. Valenzuela R. Entrenamiento isoinercial. Rubens Valenzuela [Internet]. [fecha de acceso: 30/12/2024]. Disponible en: http://rubensvalenzuela.com/web/articulos/preparacion-fisica/entrenamiento-isoinercial/

76. Tesch PA, Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR. Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise. Front Physiol. 2017 Apr 27;8:241. doi: 10.3389/fphys.2017.00241.

77. Maroto-Izquierdo S, Fernández-Gonzalo R, Magdi HR, Manzano-Rodríguez S, González-Gallego J, De Paz JA. Comparison of the musculoskeletal effects of different iso-inertial resistance training modalities: Flywheel vs. electric-motor. Eur J Sport Sci. 2019 Oct;19 (9):1184-1194. doi: 10.1080/17461391.2019.1588920.

78. Hu Z, Liu Y, Huang K, Huang H, Li F, Yuan X. Comparing the Effect of Isoinertial Flywheel Training and Traditional Resistance Training on Maximal Strength and Muscle Power in Healthy People: A Systematic Review and Meta-Analysis. Life (Basel). 2024 Jul 21;14 (7):908. doi: 10.3390/life14070908.

79. Fiorilli G, Mariano I, Iuliano E, Giombini A, Ciccarelli A, Buonsenso A, Calcagno G, di Cagno A. Isoinertial Eccentric-Overload Training in Young Soccer Players: Effects on Strength, Sprint, Change of Direction, Agility and Soccer Shooting Precision. J Sports Sci Med. 2020 Feb 24;19 (1):213-223. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7039027/pdf/jssm-19-213.pdf

80. Illera-Domínguez V, Nuell S, Carmona G, Padullés JM, Padullés X, Lloret M, Cussó R, Alomar X, Cadefau JA. Early Functional and Morphological Muscle Adaptations During Short-Term Inertial-Squat Training. Front Physiol. 2018 Sep 10;9:1265. doi: 10.3389/fphys.2018.01265.

81. Petré H, Wernstål F, Mattsson CM. Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. Sports Med Open. 2018 Dec 13;4 (1):55. doi: 10.1186/s40798-018-0169-5.

82. Beato M, Bianchi M, Coratella G, Merlini M, Drust B. Effects of Plyometric and Directional Training on Speed and Jump Performance in Elite Youth Soccer Players. J Strength Cond Res. 2018 Feb;32 (2):289-296. doi: 10.1519/JSC.0000000000002371.

83. Martín-San Agustín R, Castillo-Ballesta L, Llobat Sancho J, Esbri-Navarro R, Sánchez-Barbadora M. Comparison of Electromyographic Activity During Hip Extension Exercises Under Gravitational or Inertial Loading Conditions. Sports Health. 2022 Mar-Apr;14 (2): p. 246-253. doi: 10.1177/19417381211011407.

84. Konin J, Jessee B. Range of Motion and Flexibility. En: Andrews J, Harrelson G, Wilk K. Physical Rehabilitation of the Injured Athlete. 4th Edition. Edit. ElSevier. 2012. p. 74-88

85. Basic science behind joint mobilization and manipulation. En: pag. 3-8

86. Edmond S. General Concepts. En: Joint Mobilization/Manipulation. Extremity and Spinal Techniques. Edit. Mosby. 2006. p. 5-17

87. Houglum P. Manual Therapy. En: Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2017. p. 383-450

88. Kisner C. Peripheral Joint Mobilization/Manipulation. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic Exercise. Foundations and Techniques. 7th edition. Edit. F. A. Davis Company. 2018. p. 127-165

89. Edmond S. Principles of Examination, Evaluation, and Intervention. En: Joint Mobilization/Manipulation. Extremity and Spinal Techniques. Edit. Mosby. 2006. p. 18-35.

90. Manske R, Reiman M, Loudon J. Basic Science Behind Joint Mobilization And Manipulation. En: Orthopedic joint mobilization and manipulation. An evidence-based approach. Edit. Human Kinetics. 2019. pag. 3-8

91. Hengeveld E, Banks K. Maitland´s Vertebral Manipulation. Management of Neuromusculoskeletal Disorders – Volume One. 8th Edition. Edit. Churchill Livingstone ElSevier. 2014

92. Moon GD, Kim TH, Lim JY. Changes in joint space width during Kaltenborn traction according to traction grade in healthy adults. J Phys Ther Sci. 2016 Jan;28 (1):246-9. doi: 10.1589/jpts.28.246.

93. Weiss C, Tsakiris M, Haggard P, Schütz-Bosbach S. Agency in the sensorimotor system and its relation to explicit action awareness. Neuropsychologia. 2014 Jan;52:82-92. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.034.

94. Paillard T. Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. Neurosci Biobehav Rev. 2017 Jan;72:129-152. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.11.015.

95. Gülenç B, Kuyucu E, Erdil M. Proprioception After Soft Tissue Regenerative Treatment. En: Proprioception in Orthopaedics, Sports Medicine and Rehabilitation. Kaya D, Yosmaoglu B, Doral M. Edit. Springer. 2018. pag. 165-173

96. Prentice W. Using Therapeutic Exercise in Rehabilitation. En: Principles of Athletic Training: A Guide to Evidence-Based Clinical Practice. 16th edition. Edit. McGraw Hill. 2017 Pag. 430-462

97. Prentice W. Reestablishing Neuromuscular Control. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 145-172

98. Wang Q, Li L, Mao M, Sun W, Zhang C, Mao D, Song Q. The relationships of postural stability with muscle strength and proprioception are different among older adults over and under 75 years of age. J Exerc Sci Fit. 2022 Oct;20 (4): p. 328-334. doi: 10.1016/j.jesf.2022.07.004.

99. Halabchi F, Hassabi M. Acute ankle sprain in athletes: Clinical aspects and algorithmic approach. World J Orthop. 2020 Dec 18;11 (12): p. 534-558. doi: 10.5312/wjo.v11.i12.534.

100. Tarantino F. Bases fisiológicas y beneficios del entrenamiento propioceptivo. En: Entrenamiento Propioceptivo. Principios en el diseño de ejercicios y guías prácticas. Edit. Medica Panamericana. 2017. p. 11-16.

101. Dutton M. The Nervous System. En: Orthopaedic for the Physical Therapist Assistant. 2nd Edition. Edit. Jones & Bartlet Learning. 2019. p. 55-92.

102. Muscolino J. The Neuromuscular System. En: Kinesiologia. The Skeletal System and Muscle Function. 4th Edition. Edit. Elsevier. 2023. p. 2173-2272.

103. Lephart S, Swanki C, Blackburn T. Reestablishing Neuromuscular Control. En: Prentice W. Rehabilitation Techniques for Sports

Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. p. 145-172.

104. Tarantino F. Diseño de Ejercicios. En: Entrenamiento Propioceptivo. Principios en el diseño de ejercicios y guías prácticas. Edit. Medica Panamericana. 2017. p. 24-35.

105. Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. Curr Sports Med Rep. 2008 Feb;7 (1): p. 39-44. doi: 10.1097/01.CSMR.0000308663.13278.69.

106. Huxel Bliven KC, Anderson BE. Core stability training for injury prevention. Sports Health. 2013 Nov;5 (6):514-22. doi: 10.1177/1941738113481200.

107. Lee J, Wang L, Zhang X. Exploring the relationship between core stability and vertical jump in recreationally active male college students based on a suite of novel core stability assessments. Heliyon. 2024 Jan 28;10 (3):e25236. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25236.

108. Malanga G, Aydin S, Holder Erick, Petrin Z. Functional Therapeutic and Core Strengthening. En: Seidenberg P, Bowen J, King D. The Hip and Pelvis in Sports Medicine and Primary Care. 2nd Edition. Edit. Springer. 2017. p. 185-214.

109. Petersen C, Nittinger N. Strength and Conditioning of the Hips and Core (Practical Applications). En: Di Giacomo G, Ellenbecker T, Kibler W. Tennis Medicine. A Complete Guide to Evaluation, Treatment, and Rehabilitation. Edit. Springer. 2018. p. 627-678.

110. Hebert JJ, Koppenhaver SL, Magel JS, Fritz JM. The relationship of transversus abdominis and lumbar multifidus activation and prognostic factors for clinical success with a stabilization exercise program: a cross-sectional study. Arch Phys Med Rehabil. 2010 Jan;91 (1):78-85. doi: 10.1016/j.apmr.2009.08.146.

111. Sells P, Prentice W. Maintaining Cardiorespiratory Fitness During Rehabilitation En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. p. 261-275.

112. Pellicia A, Heidbuchel H, Corrado D, Borjesson M, Sharma S. Cardiovascular response induced by exercise. En: The ESC Textbook of Sports Cardiology. Edit. Oxford. 2019.p. 3-8.

113. Saghiv M, Sagiv M. Cardiovascular Function. En: Basic Exercise Physiology. Clinical and Laboratory Perspectives. Edit. Springer. 2020. p. 285-369.

114. Saghiv M, Sagiv M. Pulmonary Function. En: Basic Exercise Physiology. Clinical and Laboratory Perspectives. Edit. Springer. 2020. p. 207-249.

115. Alomar-Jiménez W, Fry A, Miranda-Comas G. Exercise Prescription. En: Miranda-Comas G, Cooper G, Herrera J, Curtis S. Essentials Sports Medicine. A clinical Guide for Students and Residents. 2nd edition. Edit Springer. 2021 p. 31-43.