

# Módulo 1. Aplicación del trabajo de fuerza excéntrica en el proceso de *rehab*

## Unidad 1.1 Marco teórico: la fuerza excéntrica

### 1.1.1 ¿Qué es la fuerza excéntrica?

La fuerza excéntrica se define como la capacidad que tiene el músculo de generar tensión, mientras se alarga activamente frente a una resistencia externa. Durante una contracción excéntrica, las fibras musculares se activan para desacelerar o controlar un movimiento, lo que permite resistir su alargamiento (Claudino et al., 2021).

A diferencia de la contracción concéntrica o la isométrica, esta modalidad permite producir mayores niveles de fuerza, con una menor activación metabólica y un menor coste energético (Claudino et al., 2021), lo que genera adaptaciones específicas a nivel estructural y neuromuscular (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Esto ha llevado a la fuerza excéntrica a emerger en contextos de rendimiento deportivo, prevención de lesiones y de recuperación de lesiones musculares (Claudino et al., 2021; Danielsson et al., 2020).

### 1.1.2 ¿Qué efectos produce el trabajo excéntrico y para qué sirve?

#### Efectos estructurales

Las contracciones excéntricas se caracterizan por un mayor reclutamiento de fibras tipo II (Danielsson et al., 2020), lo que estimula la adición de los sarcómeros en serie, proceso conocido como sarcomerogénesis (Bourne et al., 2017; Timmins et al., 2021) y que contribuye a mejorar la longitud de los fascículos musculares, junto con su funcionalidad.

Se ha demostrado, también, que estas contracciones excéntricas inducen a un incremento de la masa muscular y del grosor de las fibras (aumento del espesor y del área de la sección transversal del músculo), lo que se conoce como una hipertrofia selectiva. Esto ha sido demostrado particularmente en músculos como el vasto lateral del cuádriceps y el bíceps femoral largo (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Estas adaptaciones estructurales están asociadas con la mayor resistencia a la tracción mecánica y la mejor eficiencia funcional del músculo.

## Efectos neuromusculares y mecánicos

Las contracciones excéntricas promueven adaptaciones neuromusculares que favorecen un patrón de activación muscular distinto, en comparación con otros tipos de contracciones. Estas se caracterizan por una mayor eficiencia en el reclutamiento de unidades motoras, una menor cocontracción con el antagonista y una activación diferencial de fibras tipo II, especialmente bajo condiciones de sobrecarga excéntrica acentuada (Claudino et al., 2021; Merrigan et al., 2021). De esta manera, promueven una mayor rigidez muscular, facilitan una respuesta muscular más eficiente, mejoran la economía del movimiento, aumentan la eficiencia en tareas de alta velocidad y mejoran la tolerancia al esfuerzo excéntrico repetido, sin comprometer el control motor ni aumentar el dolor muscular percibido (es decir, sin generar una fatiga excesiva) (Merrigan et al., 2021).

## Efectos funcionales

Desde el punto de vista funcional, todas estas adaptaciones se relacionan con una mayor producción de la propia fuerza excéntrica, vinculada con mejoras en la producción de la fuerza máxima y con la eficiencia en el ciclo de estiramiento-acortamiento, lo que favorece el rendimiento en actividades explosivas. Es el caso, por ejemplo, del *sprint* (optimización de la fuerza horizontal y de la aceleración inicial), del salto vertical (*countermovement jump* o CMJ, y *squat jump* o SJ), y del cambio de dirección, por su mejora en la capacidad de absorción de la carga (Gonzalo-Skok et al., 2017; Timmins et al., 2021). Por todo ello, la consideración de las contracciones excéntricas es clave en contextos de rendimiento deportivo (Buonsenso et al., 2023).

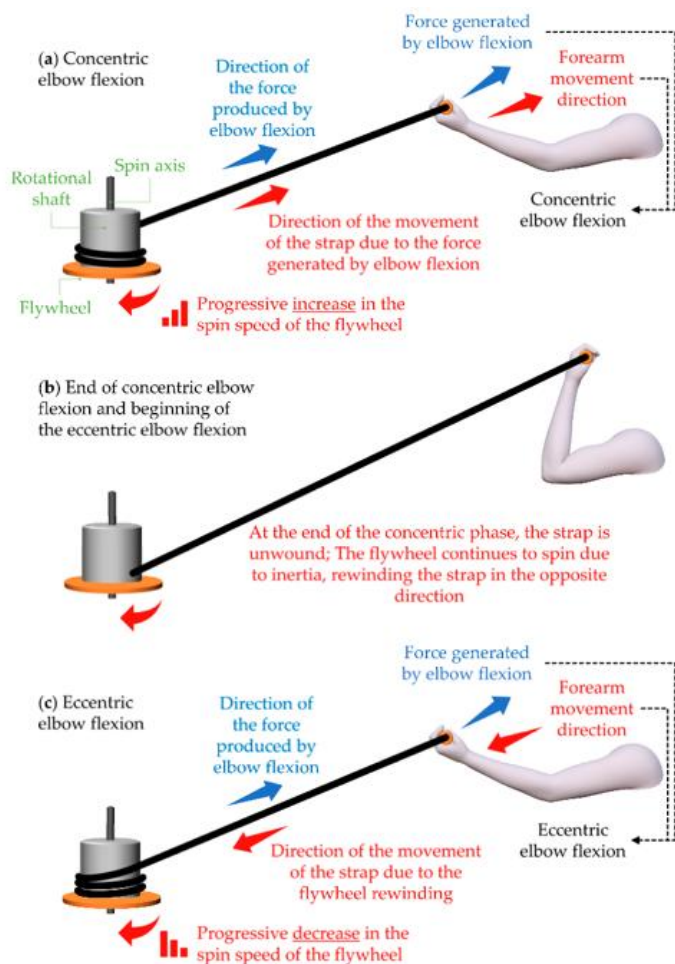
### 1.1.3 Estrategias de aplicación del trabajo excéntrico

Son varias las estrategias para aplicar fuerza excéntrica. Estas pueden clasificarse por el tipo de dispositivo o patrón de ejecución:

- **Sin equipamiento o con peso libre:** ejercicios que generan una alta carga excéntrica mediante la desaceleración controlada del cuerpo o peso libre (Bourne et al., 2017; Van Dyk et al., 2018). El peso muerto rumano (RDL) o el *nordic hamstring exercise* (NHE) son algunos de los ejercicios más descritos.
- **De sobrecarga excéntrica asistida o inercial (*flywheel*):** ejercicios realizados con un dispositivo cónico o volante de inercia, que debe ser frenado en su fase

excéntrica, para aprovechar la energía acumulada en la fase concéntrica (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Buonsenso et al., 2023).

Figura 1. Esquema del funcionamiento del dispositivo inercial tipo *flywheel*.



Fuente: Buonsenso et al., 2023, <https://www.mdpi.com/2075-4663/11/4/76>

**Figura 1:** esta figura muestra una ilustración gráfica del funcionamiento de un dispositivo inercial. Se ha utilizado como ejemplo un ejercicio de flexión de codo. Los puntos destacados son:

- flexión concéntrica del codo;
- final de la fase concéntrica e inicio de la fase excéntrica de la flexión de codo;
- flexión excéntrica del codo.

- **Sobrecarga excéntrica acentuada (AEL):** ejercicios en los que se aplica una mayor carga en la fase excéntrica que en la concéntrica. Se suelen llevar a cabo mediante dispositivos de liberación de peso o asistentes mecánicos (Merrigan et al., 2021).
- **Dispositivos isocinéticos:** un sistema isocinético es un dinamómetro diseñado para evaluar y/o entrenar la fuerza muscular, mediante aplicación de una contracción concéntrica y/o excéntrica (como en este caso), a la vez que se mantiene una resistencia constante, a través de un rango completo de movimiento (Ong et al., 2024). Ello, independientemente de la fuerza que aplique el sujeto, lo que significa que el sistema ajusta automáticamente la resistencia ofrecida para que el movimiento se realice siempre a la misma velocidad, sin aceleraciones ni desaceleraciones. Este dispositivo, comúnmente, suele utilizarse para la musculatura del cuádriceps y de los isquiotibiales en procesos de rehabilitación, para mejorar tanto la simetría entre ambas piernas como el *torque* máximo de fuerza.
- **Entrenamiento excéntrico combinado:**
  - Programas multicomponentes utilizados como prevención y rehabilitación, en los que se combina la fuerza excéntrica con el trabajo de calentamiento, propiocepción y control motor (Oliveira et al., 2024).
  - Programas que buscan integrar un entrenamiento de fuerza excéntrica en contextos de alta intensidad intermitente (HIIT) específicos del juego (Muñoz Gómez et al., 2023).

### 1.1.4 Aplicabilidad del trabajo excéntrico

Como se ha descrito, el trabajo excéntrico representa una modalidad de ejercicio con propiedades únicas: alta eficiencia mecánica, junto con un bajo coste energético, lo que nos proporciona unos efectos muy positivos tanto estructurales (de la propia arquitectura muscular) como neuromusculares y funcionales. Esto lo convierte en un modelo de trabajo indispensable tanto en programas clínicos de prevención y rehabilitación de lesiones (principalmente musculares) como en el entrenamiento de alto rendimiento deportivo.

Desde un punto de vista clínico, la aplicación sistemática de la fuerza excéntrica se ha consolidado como una herramienta clave en programas de prevención de lesiones, mostrando una eficacia significativa, especialmente, en la reducción de la incidencia de lesiones musculares. Un ejemplo de ello es el *nordic hamstring exercise*, que ha mostrado



una reducción importante de la tasa de lesiones de los isquiotibiales en múltiples estudios (Van Dyk et al., 2018; Timmins et al., 2021).

En el ámbito deportivo, un entrenamiento mediante trabajo excéntrico, principalmente con dispositivos inerciales, se asocia a mejoras en el rendimiento funcional multidireccional, de velocidad máxima y de capacidad de frenado, a la vez que se ha utilizado también con éxito para mejorar el rendimiento del *sprint*, del cambio de dirección y del salto vertical (Buonsenso et al., 2023; Gonzalo-Skok et al., 2017).

Por último —y más novedoso—, se ha visto también que, en poblaciones adultas de la tercera edad, este mismo trabajo ha mostrado beneficios en la fuerza isométrica, en la masa magra (principalmente, la muscular), así como en la movilidad (Čretnik et al., 2022) lo que hace que se lo contemple como una línea futura de investigación para un envejecimiento saludable.

### 1.1.5 ¿Se puede medir la fuerza excéntrica? ¿Cómo se mide?

Existen varios métodos para evaluar la fuerza excéntrica de manera válida y fiable. Entre ellos, se destacan:

- **Dispositivo NordBord:** aparato ampliamente utilizado para cuantificar la fuerza excéntrica de isquiotibiales durante el ejercicio NHE, el cual ha demostrado una buena fiabilidad en evaluaciones bilaterales (coeficiente de correlación intraclase o ICC = 0.83-0.90) (Claudino et al., 2021).
- **Sensor, codificador o *encoder*:** dispositivo electrónico o sensor que se utiliza para medir el movimiento, ya sea lineal o rotacional, y traducirlo en datos digitalizados. En el contexto del entrenamiento de fuerza, existen los *encoders* lineales, los cuales miden desplazamiento en línea recta (por ejemplo, en máquinas de *press*), y los *encoders* rotacionales, que miden ángulos o giros (por ejemplo, en poleas o volantes de inercia *flywheels*). Ambos sistemas permiten cuantificar variables del rendimiento muscular como el torque o la fuerza excéntrica de frenado, así como desequilibrios entre ambos miembros, evaluados en tiempo real (Maroto-Izquierdo et al., 2017).
- **Dinamometría isocinética:** dispositivo de uso comúnmente clínico o de investigación (limitación) que permite medir el *torque* máximo de fuerza excéntrica en distintos rangos articulares (Van Dyk et al., 2018).
- **Sistemas de medición indirecta:** es el caso de los protocolos estandarizados de rendimiento funcional (el 30x15, el CMJ o el *test* de *sprint*), con los que se pueden



observar mejoras atribuidas a la intervención del trabajo excéntrico (Timmins et al., 2021; Gonzalo-Skok et al., 2017).

## Unidad 1.2 Introducción al enfoque excéntrico en la rehabilitación

### 1.2.1 Justificación del trabajo excéntrico en rehabilitación

El entrenamiento de fuerza excéntrico ha cobrado una relevancia creciente en el ámbito de la rehabilitación musculoesquelética, debido a su capacidad para inducir adaptaciones neuromusculares específicas, a su aplicabilidad clínica en fases avanzadas de recuperación y a su asociación con la prevención de recaídas. A nivel funcional, los ejercicios excéntricos permiten trabajar en rangos articulares amplios, con altos niveles de tensión muscular y bajos requerimientos metabólicos, lo que favorece la adaptación estructural, sin sobrecargar innecesariamente (a nivel mecánico) el tejido lesionado.

Desde una perspectiva biomecánica, la contracción excéntrica está directamente implicada en múltiples mecanismos lesionales. Por ejemplo, las lesiones de isquiosurales durante el *sprint* suelen ocurrir en la fase final del ciclo de carrera —fase de oscilación terminal—, momento en que los músculos están sometidos a alargamiento activo y alta tensión excéntrica (Danielsson et al., 2020). Esta evidencia biomecánica justifica el enfoque preventivo y rehabilitador centrado en mejorar la capacidad del músculo para tolerar y controlar fuerzas excéntricas.

Numerosos estudios han demostrado que la debilidad en la fuerza excéntrica de los músculos flexores de la rodilla se asocia con un mayor riesgo de lesión y recidiva (Claudino et al., 2021). De hecho, desequilibrios en la fuerza excéntrica bilateral y déficits específicos de la extremidad previamente lesionada se han vinculado con mayor incidencia de lesiones en el deporte profesional (Opar et al., 2015; Van Dyk et al., 2017). En este sentido, la evaluación y el fortalecimiento excéntrico —ya sea mediante ejercicios como el *nordic hamstring* o con dispositivos isoinerciales— se han convertido en estrategias clave tanto en la prevención secundaria como en fases de rehabilitación avanzada.

Además, el trabajo excéntrico ha demostrado inducir adaptaciones en la arquitectura muscular, como el aumento en la longitud de los fascículos musculares, que es considerado un factor protector ante lesiones por elongación excesiva (Timmins et al., 2016). Estas adaptaciones estructurales, junto con mejoras en la fuerza específica y el

control neuromuscular, refuerzan el uso del entrenamiento excéntrico como herramienta terapéutica basada en la evidencia.

En conclusión, la justificación del trabajo excéntrico en el proceso rehabilitador se basa en tres pilares principales: su alineación con los mecanismos lesionales más frecuentes, su capacidad para inducir adaptaciones estructurales y funcionales protectoras, y su eficacia demostrada en reducir la incidencia de lesiones recurrentes. Estos factores lo convierten en una herramienta esencial dentro de un enfoque rehabilitador moderno y basado en criterios objetivos de progresión.

## 1.2.2 Razonamiento clínico para su aplicación en prevención y rehabilitación

El razonamiento clínico que sustenta la incorporación del trabajo de fuerza excéntrica en prevención y rehabilitación debe considerar tanto la especificidad de las demandas funcionales del deporte como la eficiencia de las estrategias de intervención. Este tipo de trabajo se distingue por su potencial para modular la función neuromuscular, adaptarse a diversas fases del proceso terapéutico y facilitar la transferencia a tareas deportivas de alta exigencia.

En el contexto preventivo, su aplicación debe valorarse no únicamente por la magnitud de la fuerza generada, sino por la capacidad de exponer al sistema musculoesquelético a patrones de carga y control motor que simulan las condiciones reales del gesto deportivo. Por ejemplo, en el fútbol sala—una disciplina caracterizada por *sprints* repetidos y gestos de alta intensidad— la inclusión de trabajo excéntrico como parte de programas integrados ha demostrado reducir la incidencia de lesiones y optimizar el rendimiento funcional (Muñoz Gómez et al., 2023).

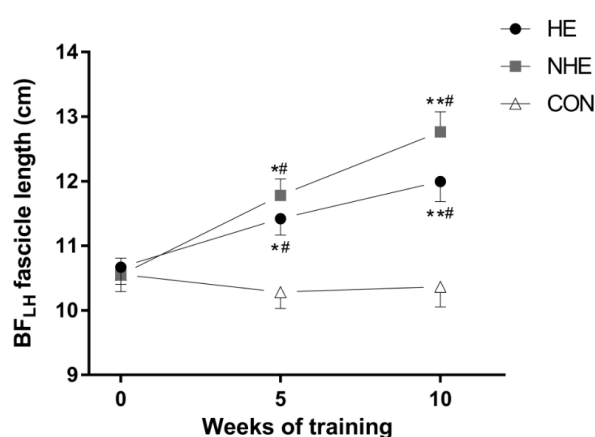
Desde un enfoque rehabilitador, el trabajo excéntrico permite intervenir sobre déficits de control motor y fuerza específica que no siempre se detectan mediante pruebas convencionales de fuerza máxima. Este aspecto es especialmente relevante en deportes con alta tasa de lesiones musculares, como el fútbol, en los que incluso pequeños desequilibrios pueden comprometer el retorno funcional. A través de ejercicios específicos, se logra una progresión gradual en tolerancia al esfuerzo, lo que minimiza el riesgo de sobrecarga durante el proceso de reentrenamiento (Oliveira et al., 2024).

Además, en la planificación clínica, es crucial contemplar factores contextuales como la adherencia, la viabilidad operativa y la aplicabilidad en entornos no controlados. En este sentido, dispositivos de medición con el fin de objetivar estos valores de fuerza excéntrica o el uso de ejercicios inerciales se presentan como herramientas útiles tanto para valorar

como para prescribir trabajo excéntrico de forma estandarizada, sin necesidad de entornos de laboratorio (Claudino et al., 2021).

Así, el razonamiento clínico no se basa únicamente en la capacidad de generar fuerza, sino en la integración inteligente del trabajo excéntrico como parte de un proceso lógico, progresivo y adaptado a las necesidades funcionales del paciente o deportista.

**Figura 2. Cambios en la longitud del fascículo del bíceps femoral cabeza larga (BFLH) durante el período de intervención**



Fuente: Bourne et al., 2017: <https://bjsm.bmj.com/content/51/5/469>

**Figura 2.** Longitud del fascículo del bíceps femoral cabeza larga ( $BF_{LH}$ ) antes (*baseline*), durante (*mid-training*) y después (*post-training*) del período de intervención para los grupos de extensión de cadera (HE), ejercicio nórdico de isquiosurales (NHE) y control (CON). La longitud del fascículo se expresa en centímetros, con barras de error que representan la desviación estándar (SE):

- indica  $p < 0.05$  comparado con el valor inicial (*baseline*, semana 0);
- indica  $p < 0.001$  comparado con el valor inicial;
- indica  $p < 0.05$  comparado con el grupo de control.

## Unidad 1.3 Bases fisiológicas y biomecánicas del trabajo excéntrico

### 1.3.1 Efectos sobre el control motor y la propiocepción

El trabajo de fuerza excéntrico no solo induce adaptaciones estructurales en el tejido muscular, sino que también desempeña un papel clave en la mejora del control motor y la propiocepción, componentes fundamentales tanto en la prevención como en la rehabilitación de lesiones. Estas mejoras se explican, en parte, por la activación específica de las vías aferentes y los mecanismos de control neuromuscular que se producen durante las contracciones excéntricas.

Desde un punto de vista fisiológico, las contracciones excéntricas implican un control más complejo de la actividad motora, debido a la necesidad de frenar el movimiento y controlar la longitud del músculo frente a cargas externas. Esta demanda incrementada ha sido asociada con una mayor actividad cortical y una reorganización funcional en áreas del sistema nervioso central responsables del control motor fino (Latella et al., 2020). Esto sugiere que la práctica sistemática de este tipo de trabajo puede favorecer procesos de neuroplasticidad relevantes en contextos de readaptación funcional.

Por otro lado, se ha observado que las modalidades de entrenamiento excéntrico, como el uso de dispositivos inerciales, promueven una mejora de la propiocepción al inducir estímulos variables e impredecibles, que obligan al sistema neuromuscular a ajustar continuamente la respuesta motora. Este tipo de entorno controlado, pero dinámico, ha mostrado beneficios específicos en el control postural y la precisión motora, incluso en poblaciones clínicas o envejecidas (Čretnik et al., 2022).

En el ámbito clínico, este efecto se traduce en una mayor capacidad del sujeto para anticipar y responder adecuadamente a perturbaciones mecánicas, lo que resulta esencial, tanto para prevenir recaídas como para asegurar un retorno al rendimiento funcional. En rehabilitación, estas mejoras han sido especialmente relevantes en tareas que implican estabilidad monopodal, coordinación intermuscular y equilibrio dinámico, que suelen estar comprometidos tras lesiones articulares o musculares.

Por tanto, la inclusión estratégica del trabajo excéntrico en programas de prevención y readaptación no se justifica únicamente por sus efectos mecánicos sobre la fuerza, sino también por su impacto positivo sobre el control sensoriomotor, que representa un pilar fundamental en la recuperación funcional y en la preparación para el retorno seguro al deporte.

# Unidad 1.4 Diseño y dosificación del trabajo excéntrico en el contexto clínico

## 1.4.1 Variables clave: carga, velocidad, volumen y frecuencia

En el contexto clínico y deportivo, la dosificación del trabajo excéntrico requiere de una manipulación precisa de cuatro variables fundamentales: carga, velocidad, volumen y frecuencia. Estas determinan no solo la magnitud del estímulo, sino también su adaptabilidad, su tolerancia y su capacidad para generar adaptaciones funcionales específicas.

Deberemos tener en cuenta que, durante el proceso de rehabilitación, tendremos que controlar exhaustivamente las cuatro variables mencionadas, con el fin de armonizar el trabajo excéntrico con el proceso de curación biológica de la lesión.

### Carga

El uso de cargas supramáximas en la fase excéntrica (por encima del 100 % del 1RM [una repetición máxima] concéntrico) se ha consolidado como una estrategia para incrementar el reclutamiento de unidades motoras y favorecer el rendimiento neuromuscular. Merrigan et al. (2021) comprobaron que, en sujetos con elevada fuerza relativa, cargas excéntricas del 120 % del 1RM no aumentaban la percepción del esfuerzo ni la fatiga muscular, pero sí mejoraban la velocidad concéntrica posterior. Este tipo de estrategia es particularmente útil en atletas de élite, quienes pueden tolerar mayores tensiones y beneficiarse de los efectos potenciadores del entrenamiento excéntrico.

### Velocidad de ejecución

La velocidad con la que se ejecuta la fase excéntrica influye de forma determinante en el tipo de adaptación generada. Velocidades más lentas favorecen el control motor y la reeducación neuromuscular, mientras que velocidades más rápidas (típicas en aplicaciones deportivas) estimulan una mayor tasa de desarrollo de fuerza (RFD) y una mejora del ciclo estiramiento-acortamiento. Como muestra Padulo et al. (2022), la manipulación intencional de la velocidad en diferentes fases permite adaptar el estímulo según el objetivo funcional, con especial relevancia en la readaptación al *sprint* o al salto.

En este punto, es necesario tener en cuenta que, a medida que aumenta la velocidad de ejecución, también aumenta el riesgo a la recidiva, lo que puede significar un riesgo muy

controlado si la progresión hasta ese punto ha sido la correcta. De la misma forma, podremos hacer que disminuya el riesgo a la recidiva mediante este trabajo mediante los mecanismos de adaptación que se producirán tras la recuperación de las estructuras empleadas.

## **Volumen**

El volumen (repeticiones y series) debe ajustarse a la tolerancia y al estadio del proceso terapéutico. En deportistas de alto nivel, volúmenes bajos (2-4 series de 6-8 repeticiones) con alta intensidad permiten mantener la calidad del movimiento y evitar interferencias con otros estímulos del entrenamiento concurrente. Esto es especialmente importante al incorporar protocolos de sobrecarga excéntrica, como el *accentuated eccentric loading* (AEL), que pueden generar una elevada demanda neuromuscular con bajo volumen efectivo.

## **Frecuencia**

El número de sesiones semanales puede oscilar entre 2 y 3 en fases de rehabilitación o readaptación, y ser reducido a 1 sesión de mantenimiento en fases de alta carga competitiva. En deportistas de élite, una baja frecuencia con alta especificidad permite integrar el trabajo excéntrico sin comprometer el rendimiento global, y puede utilizarse estratégicamente para modular la fatiga residual o prevenir lesiones recurrentes.

En suma, la planificación excéntrica en entornos clínicos y de alto rendimiento debe individualizarse según el perfil del deportista, el momento del proceso y la modalidad empleada. La clave radica en encontrar un equilibrio de carga suficiente, para inducir adaptación y control suficiente para garantizar seguridad y transferibilidad al deporte.

### **1.4.2 Criterios de progresión y regresión**

El diseño individualizado de un programa de fuerza excéntrica requiere establecer criterios claros de progresión y regresión, que permitan adaptar la carga de trabajo a la evolución funcional del deportista o paciente. Estos criterios deben guiar el proceso de decisión clínica y asegurar una adecuada exposición progresiva al estímulo excéntrico, optimizando los beneficios y minimizando el riesgo de sobrecarga.

#### **Criterios de progresión**



La progresión en el trabajo excéntrico debe seguir una lógica de complejidad creciente en función de cinco ejes fundamentales:

### **1. Tipo de contracción y asistencia**

Se recomienda iniciar con contracciones excéntricas asistidas (por ejemplo, con ayuda manual o elástico), avanzar hacia contracciones activas autocontroladas, y, posteriormente, incorporar sobrecarga excéntrica mediante peso libre, máquinas inerciales o dispositivos isocinéticos.

### **2. Carga externa**

Una vez dominada la técnica y tolerado el estímulo, se incrementa progresivamente la carga. En entornos deportivos, se pueden utilizar porcentajes supramáximos ( $\rightarrow$  100 % del 1RM concéntrico) para inducir adaptaciones específicas de fuerza máxima y tensión estructural, especialmente en fases avanzadas.

### **3. Velocidad de ejecución**

La velocidad del gesto excéntrico puede aumentarse gradualmente, a medida que el sujeto demuestra control neuromuscular y tolerancia al estímulo. Las fases iniciales suelen emplear tiempos controlados (3-5 segundos), mientras que en fases funcionales o deportivas se introducen acciones rápidas y reactivas (Padulo et al., 2022).

### **4. Complejidad del gesto**

La progresión también implica pasar de ejercicios analíticos a movimientos multiarticulares, y de bajo a alto nivel de especificidad deportiva. Esto es, por ejemplo, pasar de un ejercicio isométrico de cuádriceps a una sentadilla y, después, a una sentadilla excéntrica con sobrecarga inercial.

### **5. Contexto funcional**

Finalmente, la integración del ejercicio en tareas de transferencia funcional (como desplazamientos, frenadas o cambios de dirección) representa el estadio más alto de progresión. Esto requiere criterios objetivos de readaptación y seguimiento clínico funcional (Padulo et al., 2022).

## **Criterios de regresión**

En caso de aparición de signos de sobrecarga, dolor no tolerado, pérdida de control motor o disminución del rendimiento funcional, deben aplicarse regresiones específicas:



- reducción de la carga externa o el volumen de trabajo;
- disminución de la velocidad de ejecución para mejorar el control;
- reemplazo por variantes asistidas o con menor demanda articular;
- retorno temporal a patrones más estables o analíticos.

La utilización de escalas de dolor (por ejemplo, EVA  $\leftarrow$  3/10 durante el ejercicio y sin aumento posterior) y de criterios funcionales (como el control postural, la simetría o la calidad del movimiento) permite ajustar con precisión la progresión. Además, los *tests* de fuerza excéntrica bilateral y el análisis del desequilibrio funcional (por ejemplo, asimetrías  $>15\%$ ) pueden emplearse como referencias para decidir avances o retrocesos en la planificación (Van Dyk et al., 2017).

## Unidad 1.5 Aplicaciones en prevención de lesiones

El trabajo excéntrico no solo es eficaz en rehabilitación, sino también como estrategia preventiva. Su impacto sobre la arquitectura muscular, la fuerza específica y el control neuromuscular ha demostrado reducir la incidencia de lesiones, especialmente en contextos de alta exigencia competitiva. En este apartado, se exploran sus efectos en distintas estructuras musculoesqueléticas y su integración en modelos preventivos, con especial atención al uso de dispositivos de sobrecarga inercial (*flywheel*).

### 1.5.1 Evidencia en prevención primaria: isquiosurales, aductores, tendón rotuliano y Aquiles

En el caso de los isquiosurales, el ejercicio excéntrico sistematizado ha demostrado reducciones de hasta un 70 % en la incidencia de lesiones (Petersen et al., 2011; Van der Horst et al., 2015). Estos efectos se asocian con incrementos en la fuerza excéntrica y la longitud de fascículo del bíceps femoral (Bourne et al., 2017; Timmins et al., 2021), considerados factores protectores. En particular, el trabajo con dispositivos de inercia, como el *kBox* o *yo-yo leg curl*, también ha demostrado provocar adaptaciones comparables al NHE, mejorando la longitud de fascículo y la producción de fuerza excéntrica (Timmins et al., 2021; De Hoyo et al., 2015).



En los aductores, se ha observado que el fortalecimiento excéntrico específico, a través del *Copenhagen adduction exercise* puede reducir significativamente la incidencia de lesiones inguinales en futbolistas (Harøy et al., 2019). Aunque aún no se dispone de estudios equivalentes con *flywheel* para esta musculatura, su uso podría ser extrapolable dada la posibilidad de generar sobrecarga direccional específica.

Para tendinopatías del tendón rotuliano y del tendón de Aquiles, los protocolos excéntricos han demostrado inducir efectos beneficiosos a nivel estructural y funcional (Malliaras et al., 2013). A través de adaptaciones como la reorganización del colágeno y la mejora de la capacidad tensil, estos métodos pueden integrarse preventivamente en poblaciones de riesgo. Aunque la mayor parte de la evidencia está basada en sobrecarga con peso libre, se han comenzado a explorar protocolos excéntricos inerciales como complemento o alternativa viable.

### **1.5.2 Modelos preventivos basados en trabajo excéntrico (*nordic hamstring* y *Copenhagen adduction*)**

Los modelos preventivos más eficaces en el deporte de élite se basan en la aplicación sistemática de cargas excéntricas específicas y progresivas. Clásicamente, los ejercicios como el *nordic hamstring exercise* (NHE) y el *Copenhagen adduction exercise* (CAE) han constituido la base de los programas preventivos con fuerte respaldo científico. A estos se ha sumado progresivamente el uso de dispositivos inerciales tipo *flywheel*, que permiten una dosificación precisa y adaptativa de la sobrecarga excéntrica.

- **NHE:** mejora la fuerza excéntrica de los isquiosurales y la longitud de fascículo del bíceps femoral, factores clave en la prevención de lesiones durante el *sprint* (Petersen et al., 2011; Timmins et al., 2021).
- **CAE:** fortalece excéntricamente los aductores y reduce significativamente las lesiones inguinales, especialmente en deportes de alta intensidad como el fútbol (Harøy et al., 2019).
- *Flywheel training* (entrenamiento inercial): ha emergido como una estrategia eficaz y adaptable, tanto en prevención como en optimización del rendimiento funcional.

En este sentido, el estudio de Gonzalo-Skok et al. (2017) aporta evidencia relevante sobre la importancia del vector de fuerza y el patrón de movimiento en los programas preventivos con *flywheel*. Comparando dos modalidades de entrenamiento excéntrico inercial –una basada en movimientos bilaterales verticales (como *squat*) y otra en movimientos unilaterales multidireccionales (como *lunge* lateral, diagonal o rotacional)–, observaron que los patrones multidireccionales producían mejoras más amplias en



capacidades específicas del deporte, como el cambio de dirección, la aceleración lateral y la estabilidad funcional.

Estas mejoras no solo son relevantes en términos de rendimiento, sino que tienen una clara implicación preventiva, ya que permiten entrenar en vectores funcionales más próximos a las demandas específicas del deporte y con mayor transferencia neuromuscular. Además, el trabajo unilateral favorece el desarrollo equilibrado de extremidades, aspecto clave en la prevención de asimetrías y compensaciones que pueden derivar en lesiones (Gonzalo-Skok et al., 2017).

Así, un modelo preventivo contemporáneo debe incorporar:

- Variabilidad de vectores de aplicación de fuerza (vertical, horizontal, lateral).
- Alternancia entre ejercicios bilaterales y unilaterales.
- Trabajo excéntrico específico con *flywheel* en múltiples planos de movimiento.

Este enfoque integral ofrece una alternativa o complemento a los modelos clásicos como el NHE o CAE, adaptándose mejor a las demandas específicas del juego y las características individuales del deportista.

### 1.5.3 Integración en programas de fuerza y readaptación

La integración del trabajo excéntrico en programas de fuerza y readaptación no debe entenderse como un componente aislado, sino como una parte estratégica del desarrollo físico y de la prevención de lesiones. Esta integración debe atender al contexto específico del deportista, el estado de la estructura lesionada y las demandas del deporte.

#### Estrategias de integración progresiva

En un programa bien estructurado, el trabajo excéntrico puede introducirse de forma escalonada a lo largo del *continuum* preventivo-terapéutico:

1. **Fase inicial postlesión:** se priorizan ejercicios con bajo nivel de carga y control externo, como contracciones manuales, trabajo isométrico excéntrico submáximo o sistemas de fricción guiada.
2. **Fase intermedia de rehabilitación:** se incorporan métodos con mayor carga excéntrica controlada, incluyendo trabajo con pesos libres, gomas o dispositivos inerciales con vector vertical (por ejemplo, *leg press* con *flywheel*).

- 3. Fase avanzada/readaptación:** se aplican modelos de sobrecarga excéntrica específicos y funcionales, incluyendo ejercicios unilaterales, multidireccionales y en condiciones de alta velocidad (por ejemplo, *swings* inerciales, *lunges* rotacionales, NHE, CAE).

Este enfoque escalonado permite controlar el riesgo de sobrecarga en fases tempranas, mientras se optimiza la transferencia funcional en fases finales.

### Integración con otros medios de entrenamiento

La evidencia sugiere que el trabajo excéntrico tiene un efecto sinérgico cuando se combina con otras formas de entrenamiento. Por ejemplo:

- La combinación con trabajo concéntrico explosivo potencia la producción de fuerza reactiva y la rigidez del tendón.
- El uso en alternancia con métodos balísticos o pliométricos mejora el control neuromuscular y la capacidad de desaceleración.
- En situaciones clínicas, su integración con ejercicios propioceptivos o de control motor ofrece beneficios a nivel cortical y de control postural.

Además, el entrenamiento excéntrico puede personalizarse, según las asimetrías detectadas mediante pruebas funcionales o de fuerza, tal como propone Gonzalo-Skok et al. (2017) en su modelo de entrenamiento unilateral multidireccional con *flywheel*, que además de mejorar el rendimiento, redujo desequilibrios entre piernas.

### Consideraciones de programación

Para lograr una integración eficaz en el contexto del rendimiento y la prevención, se deben considerar los siguientes principios:

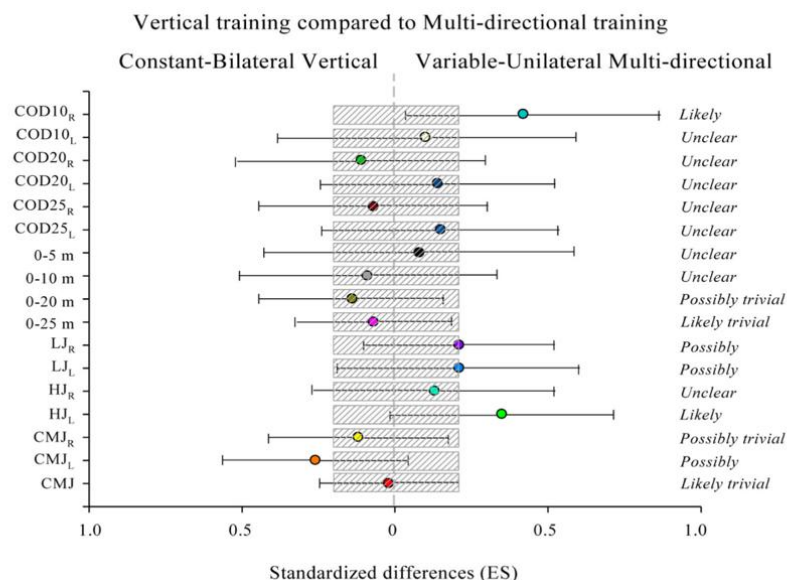
- **Frecuencia:** entre una y dos sesiones semanales parecen suficientes para mantener adaptaciones y prevenir recaídas (Harøy et al., 2019; De Hoyo et al., 2015).
- **Progresión de carga:** se recomienda comenzar con fuerzas inerciales bajas e ir incrementando la intensidad excéntrica, según la tolerancia y la funcionalidad.



- **Individualización:** la respuesta al entrenamiento excéntrico varía notablemente entre sujetos (Van Dyk et al., 2018), por lo que la adaptación debe basarse en datos objetivos de fuerza, arquitectura muscular y perfil de riesgo.

Finalmente, el trabajo con *flywheel* en múltiples planos ofrece una herramienta flexible para readaptar estructuras lesionadas, minimizar desequilibrios y maximizar la transferencia al gesto deportivo. Su capacidad para generar una sobrecarga excéntrica autorregulada, su compatibilidad con entornos clínicos o de campo, y su evidencia creciente en prevención primaria y secundaria lo convierten en una pieza clave en programas de entrenamiento integrados.

**Figura 3. Comparación de la eficacia entre el entrenamiento vertical bilateral constante y el entrenamiento multidireccional unilateral variable**



Fuente: Gonzalo-Skok et al, 2017: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/12/7/article-p951.xml>

**Figura 3.** Eficacia del entrenamiento vertical bilateral constante comparado con el programa de entrenamiento multidireccional unilateral variable para mejorar:

- tiempo de *sprint* de 10 m con pierna derecha (COD10R) y pierna izquierda (COD10L) con cambio de dirección de 180°;
- *sprint* de 20 m con pierna derecha (COD20R) y pierna izquierda (COD20L) con cambio de dirección de 180°;
- *sprint* de 25 m con pierna derecha (COD25R) y pierna izquierda (COD25L) con cambios de dirección de 180°, 5°, 10°, 20° y 25°; tiempo de *sprint* lineal en 25 m;



- salto lateral con pierna derecha (LLR) y pierna izquierda (LLL);
- salto horizontal con pierna derecha (HJR) y pierna izquierda (HJL);
- salto vertical con pierna derecha (CMJR) y pierna izquierda (CMJL);
- y rendimiento en salto contra-movimiento bilateral (CMJ).

Las barras indican la incertidumbre en los cambios medios reales con un intervalo de confianza del 90 %. Las áreas triviales representan los cambios de menor relevancia.

## Unidad 1.6 Monitorización y control de la carga excéntrica

El trabajo de fuerza excéntrica, por su alta exigencia neuromuscular y sus efectos específicos sobre el tejido musculo-tendinoso, requiere de un control preciso para evitar sobrecargas y optimizar la recuperación funcional. En este sentido, la monitorización de la carga excéntrica representa una herramienta fundamental tanto en contextos clínicos como deportivos.

### 1.6.1 Indicadores objetivos: dinamometría, sistemas inerciales y escalas de esfuerzo percibido

El control de la carga excéntrica puede abordarse desde múltiples ángulos:

- **Dinamometría isocinética:** es una de las herramientas más utilizadas para evaluar la fuerza excéntrica máxima, especialmente en rodilla e isquiosurales. Sin embargo, su aplicabilidad práctica es limitada por el coste, el acceso al equipamiento y la especificidad funcional reducida. Además, la evidencia de Van Dyk et al. (2018) pone de manifiesto la alta variabilidad interindividual y la baja correlación entre mediciones isocinéticas y otras formas de fuerza excéntrica (como el *nordic hamstring*), lo que obliga a una interpretación cautelosa.
- **Dispositivos inerciales *flywheel*:** permiten la cuantificación directa de parámetros mecánicos, como la potencia, la velocidad angular o el ratio concéntrico/excéntrico, a través de *encoder* rotacional. Esto facilita una monitorización diaria durante el entrenamiento. Por ejemplo, Gonzalo-Skok et al. (2017) utilizaron estas métricas para ajustar el estímulo excéntrico de forma

precisa en atletas de equipo, asegurando una sobrecarga excéntrica progresiva y segura.

- **Escalas de esfuerzo percibido (RPE):** la utilización de escalas subjetivas adaptadas a la carga excéntrica (como RPE específica de la fase excéntrica o RPE-*flywheel*) ha demostrado buena correlación con medidas objetivas de fatiga en tareas excéntricas (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Su ventaja es la facilidad de aplicación diaria y su capacidad para detectar cambios sutiles en la tolerancia del deportista a la carga.
- **Otras herramientas:** se ha propuesto el uso de saltos CMJ (presesión y postsesión), *tests* de fuerza isométrica con dinamometría portátil y análisis de variabilidad de la potencia en series inerciales, como métodos indirectos para cuantificar la fatiga y tolerancia a la carga excéntrica.

### 1.6.2 Análisis de la fatiga neuromuscular y riesgo de sobrecarga

El entrenamiento excéntrico, especialmente en condiciones de alta intensidad o velocidad, conlleva un riesgo elevado de fatiga neuromuscular retardada (DOMS), disfunción del control motor y posibles respuestas inflamatorias musculares. Por ello, su dosificación debe considerar no solo la carga externa, sino también los indicadores de fatiga y recuperación.

Estudios como los de Maroto-Izquierdo et al. (2017) y De Hoyo et al. (2015) mostraron que el entrenamiento con *flywheel* provoca incrementos agudos en la fuerza excéntrica, pero también elevadas demandas neuromusculares. En consecuencia, se recomienda:

- Usar registros postsesión de potencia máxima, disminución del rendimiento en series o *test* de salto vertical, para detectar signos de fatiga acumulada.
- Integrar periodos de descarga o variabilidad semanal de volumen, especialmente en fases de retorno a la competición.
- Evitar la fatiga acumulada de carácter excéntrico en semanas con alta densidad competitiva, adaptando las intensidades en función del perfil del deportista.

### 1.6.3 Registro de evolución funcional en el proceso de rehabilitación

La cuantificación de la respuesta a la carga excéntrica a lo largo del proceso de rehabilitación permite ajustar progresiones y tomar decisiones más precisas sobre el retorno al entrenamiento o la competición. Algunas herramientas destacadas incluyen:

- **Evaluación de la simetría funcional:** mediante *test* de fuerza isométrica o pruebas funcionales con dispositivos inerciales en modalidad unilateral, como propone Gonzalo-Skok et al. (2017).
- **Seguimiento longitudinal del ratio concéntrico/excéntrico**, valorando el equilibrio y control durante tareas de alta intensidad.
- **Monitorización de parámetros de rendimiento específicos** (como el tiempo en el *test* de *T-agility*, la velocidad en *sprint* o la altura de salto) para detectar desviaciones funcionales tras lesión.

El control individualizado y dinámico de la carga excéntrica permite reducir recaídas, optimizar el proceso de readaptación y adaptar las cargas a la variabilidad del deportista. Tal como advierten Van Dyk et al. (2018), las mediciones puntuales pueden ser insuficientes, por lo que un enfoque longitudinal basado en tendencias y respuesta funcional real es preferible.

## Unidad 1.7 Conclusiones y líneas futuras de trabajo

El trabajo de fuerza excéntrica ha evolucionado desde un enfoque limitado a protocolos específicos hacia un marco más amplio, que integra el control neuromuscular, la prevención de lesiones y la readaptación funcional en el deporte de alto nivel. Hasta aquí, hemos recorrido los fundamentos, aplicaciones y estrategias de dosificación del trabajo excéntrico, con especial atención a su uso en contextos clínicos y de rendimiento.

### 1.7.1 Principales aprendizajes del módulo

- El estímulo excéntrico es único en su capacidad para inducir adaptaciones musculares profundas, incluyendo el aumento de la longitud de fascículo, la mejora en la rigidez tendinosa y el fortalecimiento en posiciones de elongación.

- La dosificación adecuada (control de carga, velocidad, volumen y frecuencia) es esencial para optimizar los beneficios y evitar efectos negativos, como la sobrecarga o la fatiga excesiva.
- El trabajo excéntrico no debe limitarse a ejercicios clásicos como el nórdico o la prensa excéntrica; su aplicación puede abarcar múltiples tipos de ejercicios (manuales, inerciales, isocinéticos, libres), vectores de fuerza y configuraciones específicas.
- Las aplicaciones en prevención de lesiones han sido ampliamente demostradas en isquiosurales, aductores y tendones, y cuentan con gran respaldo científico en poblaciones deportivas de élite.
- La monitorización individualizada permite ajustar la progresión y controlar el riesgo, especialmente en fases de retorno a la competición.

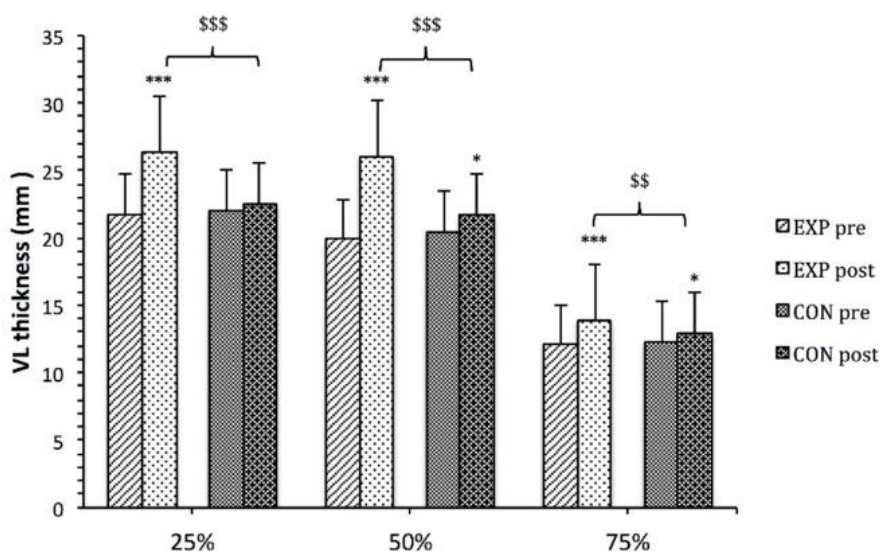
### 1.7.2 Nuevas tecnologías y herramientas para trabajo excéntrico

En los últimos años, se ha producido un notable avance en tecnologías que permiten una aplicación más precisa, segura y personalizada del trabajo excéntrico:

- **Dispositivos inerciales:** han revolucionado la forma de entrenar la fase excéntrica, permitiendo una autorregulación de la carga basada en el esfuerzo del deportista. Además, incorporan sistemas de retroalimentación en tiempo real para monitorizar potencia, velocidad y relación concéntrico/excéntrico.
- **Dinamometría portátil:** permiten evaluar fuerza isométrica excéntrica en diferentes ángulos y planos con buena fiabilidad y aplicabilidad clínica directa.
- **Sistemas de análisis de movimiento y rendimiento:** integran el análisis de producción excéntrica en tareas dinámicas, mejorando el control del estímulo a través de parámetros como velocidad, potencia y desplazamiento.
- **Escalas de percepción del esfuerzo específicas y tecnologías para estimar la fatiga neuromuscular** están ganando terreno como métodos accesibles y sensibles al estado del deportista.

Estas herramientas permiten diseñar programas más individualizados, basados en datos objetivos, y adaptables tanto en entornos de alto rendimiento como clínicos.

**Figura 4. Cambios en el grosor del músculo vasto lateral antes y después del entrenamiento**



Fuente: Maroto-Izquierdo et al., 2017: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5765793/>

**Figura 4.** Grosor del músculo vasto lateral en las regiones proximal (25 %), medial (50 %) y distal (75 %), medido antes y después del programa de entrenamiento para los grupos experimental (EXP) y control (CON).

- Diferencias significativas respecto al valor preentrenamiento: \* $p < 0.05$  y \*\*\* $p < 0.001$ . \$
- Diferencias significativas respecto al grupo control: \$ $p < 0.05$  y \$\$\$ $p < 0.001$ .

### 1.7.3 Líneas de investigación emergentes

El estudio del trabajo excéntrico sigue expandiéndose con nuevas preguntas e hipótesis de interés para la ciencia y la práctica clínica. Algunas líneas emergentes incluyen:

- **Relación entre adaptaciones arquitectónicas y riesgo de lesión:** aunque se ha demostrado que el aumento de la longitud de fascículo protege frente a lesiones, todavía se investiga qué tipo de estímulo excéntrico genera las adaptaciones más duraderas y funcionales.
- **Optimización de la dosis excéntrica mínima efectiva (microdosificación):** el concepto de aplicar cargas excéntricas en dosis reducidas durante la temporada está ganando relevancia como estrategia preventiva compatible con la competición.

- **Aplicación en poblaciones clínicas no deportivas:** se están explorando beneficios del trabajo excéntrico en adultos mayores, pacientes con tendinopatías crónicas o enfermedades neuromusculares.
- **Comparación entre tecnologías excéntricas (manual, inercial, isocinética, velocidad controlada):** se requiere mayor evidencia sobre qué herramienta es más eficaz en cada fase de rehabilitación y para cada perfil de deportista.
- **Respuesta individual y genética a estímulos excéntricos:** nuevas investigaciones tratan de explicar por qué ciertos atletas responden mejor que otros a protocolos excéntricos, considerando factores como la arquitectura basal, la experiencia previa o la predisposición genética.

Este curso no solo pretende ofrecer herramientas prácticas, sino también fomentar una mirada crítica y actualizada sobre el uso del trabajo excéntrico en el deporte. El reto futuro será integrar ciencia, tecnología y personalización en el diseño de estrategias que mejoren el rendimiento y reduzcan la incidencia lesional de forma sostenible.

## Referencias

- Bourne, M. N., Duhig, S. J., Timmins, R. G., Williams, M. D., Opar, D. A., Al Najjar, A., Kerr, G. K. y Shield, A. J.** (2017). Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(6): 469-477. doi: 10.1136/bjsports-2016-096130
- Buonsenso, A., Centorbi, M., Iuliano, E., Di Martino, G., Della Valle, C., Fiorilli, G., Calcagno, G., y Di Cagno, A.** (2023). A Systematic Review of Flywheel Training Effectiveness and Application on Sport Specific Performances. *Sports*, *11*(4), 76. doi: 10.3390/sports11040076
- Claudino, J. G., Cardoso Filho, C. A., Bittencourt Netto, N. F., Gonçalves, L. G., Couto, C. R., Quintão, R. C., Fialho Reis, G., De Oliveira Júnior, O., Amadio, A. C. y Serrão, J. C.** (2021). Eccentric strength assessment of hamstring muscles with new technologies: A systematic review of current methods and clinical implications. *Sports Medicine - Open*, *7*(10). doi: 10.1186/s40798-021-00298-7
- Čretnik, K., Pleša, J., Kozinc, Ž., Löfler, S., y Šarabon, N.** (2022). The effect of eccentric vs. traditional resistance exercise on muscle strength, body composition, and functional performance in older adults: A systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*, *4*. doi: 10.3389/fspor.2022.873718
- Danielsson, A., Horvath, A., Senorski, C., Alentorn-Geli, E., Garrett, W. E., Cugat, R., Samuelsson, K. y Hamrin Senorski, E.** (2020). The mechanism of hamstring injuries - a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *21* (641). doi: 10.1186/s12891-020-03658-8
- De Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., y Moran Camacho, E.** (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(1): 46-52. doi: 10.1123/ijsp.2013-0547
- Gonzalo-Skok, O., Tous-Fajardo, J., Valero-Campo, C., Berzosa, C., Bataller, A. V., Arjol-Serrano, J. L., Moras, G., y Mendez-Villanueva, A.** (2017). Eccentric-overload training in team-sport functional performance: Constant bilateral vertical versus variable unilateral multidirectional movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(7):, 951-958. doi: 10.1123/ijsp.2016-0251
- Harøy, J., Clarsen, B., Wiger, E. G., Øyen, M. G., Serner, A., Thorborg, K., Hölmich, P., Andersen, T. E., y Bahr, R.** (2019). The Adductor Strengthening Programme prevents groin problems among male football players: A cluster-randomised controlled



trial. *British Journal of Sports Medicine*, 53(3): 150-157. doi: 10.1136/bjsports-2018-099379

**Latella, C., Teo, W. P., Drinkwater, E. J., Haff, G. G., & Behm, D. G.** (2020). The acute neuromuscular responses to eccentric versus concentric resistance exercise: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Biomechanics*, 104, 109824. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109824

**Malliaras, P., Barton, C. J., Reeves, N. D., y Langberg, H.** (2013). Achilles and patellar tendinopathy loading programmes: A systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sports Medicine*, 43(4): 267-286. doi: 10.1007/s40279-013-0019-z

**Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., y de Paz, J. A.** (2017). Functional and muscle-size effects of flywheel resistance training with eccentric-overload in professional handball players. *Journal of Human Kinetics*, 60(1): 133-143. doi: 10.1515/hukin-2017-0096

**Merrigan, J. J., Tufano, J. J., y Jones, M. T.** (2021). Potentiating effects of accentuated eccentric loading are dependent upon relative strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5): 1208-1216. doi: 10.1519/JSC.0000000000004010

**Muñoz Gómez, E., Atef, H., Elsayed, S. H., Zakaria, H. M., Pérez Navarro, M., y Marqués Sulé, E.** (2023). Effects of high-intensity interval training with an eccentric hamstring exercise program in futsal players: A randomized controlled trial. *Medicine*, 102(31). doi: 10.1097/MD.00000000000034626

**Oliveira, J. P., Sampaio, T., Marinho, D. A., Barbosa T. M. y Morais, J. E.** (2024). Exploring injury prevention strategies for futsal players: A systematic review. *Healthcare*, 12(14). doi: 10.3390/healthcare12141387

**Ong, M. T., Chan, J. S., Man, G. C., Qiu, J., He, X., Wang, Q., y Yung, P. S.** (2024). Effect of eccentric isokinetic exercise on muscle strength and functional recovery after anterior cruciate ligament reconstruction. *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, 35: 20-26. doi: 10.1016/j.asmart.2023.11.002

**Opar, D. A., Williams, M. D., Timmins, R. G., Hickey, J., y Shield, A. J.** (2015). Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(4): 857-865. doi: 10.1249/MSS.0000000000000465

**Padulo, J., Vando, S., Chaabene, H., Ardigò, L. P., y Chamari, K.** (2022). Eccentric muscle actions in sport: Practical and clinical implications for injury prevention and



performance. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(4), 155. doi: 10.3390/jfmk8040155

**Petersen, J., Thorborg, K., Nielsen, M. B., Budtz-Jørgensen, E., y Hölmich, P.** (2011). Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: A cluster-randomized controlled trial. *American Journal of Sports Medicine*, 39(11): 2296-2303. doi: 10.1177/0363546511419277

**Timmins, R. G., Bourne, M. N., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., y Opar, D. A.** (2016). Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): A prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24): 1524-1535. doi: 10.1136/bjsports-2015-095362

**Timmins, R. G., Filopoulos, D., Nguyen, V., Giannakis, J., Ruddy, J. D., Hickey, J. T., Maniar, N., y Opar, D. A.** (2021). Sprinting, Strength, and Architectural Adaptations Following Hamstring Training in Australian Footballers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(7): 1276-1289. doi: 10.1111/sms.13941

**Van der Horst, N., Smits, D.-W., Petersen, J., Goedhart, E. A., y Backx, F. J. G.** (2015). The preventive effect of the Nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: A randomized controlled trial. *American Journal of Sports Medicine*, 43(6): 1316-1323. doi: 10.1177/0363546515574057

**Van Dyk, N., Bahr, R., Whiteley, R., Tol, J. L., Kumar, B. D., Hamilton, B., y Witvrouw, E.** (2017). Hamstring and quadriceps isokinetic strength deficits are weak risk factors for hamstring strain injuries: A 4-year cohort study. *American Journal of Sports Medicine*, 45(6): 1364-1370. doi: 10.1177/0363546516682238

**Van Dyk, N., Witvrouw, E., y Bahr, R.** (2018). Interseason variability in isokinetic strength and poor correlation with Nordic hamstring eccentric strength in football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(4): 1878-1887. doi: 10.1111/sms.13201

## **Bibliografía de uso complementario**

**Askling, C. M., Karlsson, J., y Thorstensson, A.** (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(4): 244-250. doi: 10.1034/j.1600-0838.2003.00312.x

