

# UNIDAD DEPORTIVA

## PRESENTACIÓN

Tanto en la vida diaria y laboral como en la práctica deportiva estamos expuestos a sufrir lesiones (óseas, articulares o músculo-tendinosas) que nos impiden desarrollar nuestras actividades de forma plena. Son contratiempos que no pueden evitarse del todo ya que el propio movimiento del cuerpo humano lleva implícito el riesgo de que se produzcan. Sin embargo se puede disminuir ese riesgo (Prevención) o que su evolución sea más favorable y la vuelta a la “normalidad” se realice en el menor tiempo posible (Readaptación físico-deportiva).

Tanto la Readaptación como la Prevención se basan en la evidencia científica y se realizan de forma individualizada y específica adecuando los contenidos a las características de cada persona y actividad. Para llevarlas cabo nos basamos en cuatro pilares fundamentales:

- **La fuerza.** Entendida como la única cualidad física básica de la cual dependen las demás. Daremos prioridad al trabajo en sobrecarga excéntrica por sus reconocidos beneficios tanto a nivel muscular, tendinoso y articular.
- **Core Stability o estabilidad de la cintura lumbo-pélvica.** Es importante tener un buen tono muscular ya que la capacidad de mantener el tronco estable en diferentes situaciones de desequilibrio es clave para evitar problemas.
- **El sistema sensoriomotor.** Que se presenta como la combinación de los procesos neurosensorial y neuromuscular, la cual ha sido mal llamada y simplificada con el término de “propiocepción”. Su trabajo permite asegurar la estabilidad funcional de las articulaciones durante actividades como cambios de dirección o recepciones de saltos, relacionadas con una alta incidencia lesiva. Se crean múltiples situaciones perturbadoras que obligan al sistema a generar soluciones que quedan integradas para su posterior utilización ante problemas similares.
- **La coordinación.** muy relacionada con el anterior, que nos permite realizar acciones complejas de forma eficaz en base a la rapidez en el procesamiento de la información por parte del SNC. La variabilidad de las prácticas y la diferenciación de estímulos permite un mayor trabajo cognitivo que redundará en incremento de la calidad de las acciones motrices.

## Programas

- **Readaptación físico-deportiva**

Finalizada la recuperación biológica del tejido lesionado se hace necesaria una fase de Readaptación, a través de ejercicios terapéuticos específicos de menor a mayor complejidad, que consiga restaurar su completa funcionalidad y optimizarla respecto al nivel previo para evitar recaídas.

Las consideraciones más importantes en la recuperación de cualquier tipo de lesión son: recuperar la amplitud o grado de movimiento de la zona lesional, mejorar los niveles sensoriomotores y la capacidad de fuerza y resistencia de la musculatura.

Una vez que hemos conseguido lo anterior debemos orientar el tipo de ejercicios y tareas hacia las necesidades y requerimientos que se le van a solicitar posteriormente, bien hacia el gesto deportivo o bien hacia la función que va a desempeñar en la vida diaria o labor profesional.

Se trabaja de forma específica la zona anatómica lesionada atendiendo a factores como la biomecánica lesiva, desequilibrios neuromusculares, déficit de fuerza y habilidades básicas de la especialidad deportiva practicada en cada caso.

Asimismo se presta atención al resto de estructuras para que no pierdan sus capacidades y que el retorno a la actividad o al entrenamiento y la competición sea rápida y con las mayores garantías posibles.

- **Prevención de lesiones**

El mayor riesgo para sufrir una lesión es una lesión previa. De esta manera un tejido que ha estado dañado con anterioridad necesita de una vigilancia y trabajo especial para no sufrir una recidiva.

En función de nuestra actividad estamos más expuestos a un tipo de lesión que otra, por lo que un buen entrenamiento preventivo nos ayudará a minimizar ese riesgo así como a incrementar el rendimiento.

La metodología de trabajo será la de fortalecer al máximo, sin crear descompensaciones, las zonas con mayor riesgo de lesión y mejorar en lo posible o reorganizar aquellos movimientos o gestos que mal ejecutados sobrecargan las estructuras.

- **Entrenamiento personal**

Cuanto más alto es el rendimiento, más específico debe ser el entrenamiento para poder elevar nuestro nivel. De la misma manera, si queremos llegar a esos niveles, deberemos mejorar las capacidades neuromusculares, coordinativas y cognitivas que marcan la diferencia en la realización de nuestra disciplina.

Por otra parte, cualquier persona que desee reincorporarse a la práctica de actividad física después de un largo periodo sedentario, deberá realizar un trabajo previo que evalúe el estado muscular y articular para ponerlos a punto y no sufrir ningún percance en forma de lesión.

Basándonos en los cuatro pilares descritos anteriormente podrás mejorar tus prestaciones físicas y deportivas. Te proponemos un tipo de entrenamiento que se adapta a los requerimientos que necesites para incrementar el grado de optimización de tus cualidades.





# UNIDAD DEPORTIVA

RECUPERACIÓN Y PREVENCIÓN

## Índice

Readaptación lesional (Carlos Lalín) .....	Pág.2
Prevención de lesiones (Daniel Romero) .....	Pág. 30
El Trabajo excéntrico (Julio Tous) .....	Pág .56
La sobrecarga excéntrica (Daniel Romero).....	Pág. 61
Entrenamiento mediante vibraciones mecánicas (Julio Tous) .....	Pág. 71
Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas (Azahara Fort y Daniel romero) .....	Pág. 87
Concepto de Core Stability (María García Gil) .....	Pág. 99

# La readaptación lesional

Carlos Lalín Novoa

## Resumen:

De todos es sabido que la actividad física conlleva una serie de beneficios y de riesgo por sí misma. Estos riesgos se traducen en eventos perjudiciales que inciden de manera importante en la salud y calidad de vida del deportista. Las situaciones lesivas requieren de la coordinación de un equipo multidisciplinar de profesionales con el objetivo de prevenir, recuperar funcional y/o readaptar deportivamente al deportista a las exigencias del entrenamiento y la competición, lo antes posible. En el presente artículo se muestra un modelo de análisis conceptual, multivariable e interpretativo del proceso de readaptación lesional y del reentrenamiento físico-deportivo al esfuerzo del gesto deportivo. Se revisan, analizan se aportan definiciones relacionadas con el objeto de estudio. También, se define el perfil funcional de los profesionales que intervienen para la optimización de la salud-deportiva y el rendimiento-deportivo del deportista lesionado y se valora la necesidad de una formación especializada. Finalmente, se exponen una propuesta de estructuración de los programas de prescripción para la readaptación física de las lesiones deportivas.

**Palabras clave: Salud deportiva. Lesión. Readaptación lesional. Reentrenamiento del gesto deportivo.**

## I. Introducción.

El auge que ha experimentado la práctica deportiva en las sociedades actuales, la inadecuada prescripción y diseño de ejercicios, las exigencias de dichas prácticas y el incremento del número de participantes y competiciones, entre otros factores, han provocado un aumento notorio de la prevalencia y la incidencia de alteraciones que afectan a la salud y a la calidad de vida de los individuos y, concretamente, al aparato locomotor (Santonja et al., 1996; Saxon et al., 1999; Pfeiffer y Magnus., 2001; Lequesne., 2004; Hughes y Watkins., 2006; Wright et al., 2007; Meeuwisse et al., 2007; Sheir, 2007).

El deporte de alto rendimiento representa una actividad problemática dentro de la promoción de la salud puesto que por su naturaleza existen dos riesgos claves (Devís y Peiró, 1992): el control de su intensidad y la posibilidad de lesiones que afecten al sistema osteoarticular y muscular.

La relación entre deporte de rendimiento y salud, a corto plazo, exige un constante equilibrio entre ambas dimensiones ya que, los problemas de salud afectan negativamente al rendimiento impidiendo, precisamente, el logro de su objetivo fundamental: “rendir deportivamente”.

Hasta hace pocos años, los esfuerzos se centraban en el tratamiento del trauma en sí, prestando atención al proceso terapéutico desde una perspectiva clínica (médico-terapéutica). Últimamente, los intereses se han orientado hacia el desarrollo de estrategias y propuestas de intervención, relacionadas con la prevención y la readaptación físico-deportiva de las lesiones desde una perspectiva bio-psico-social. El objetivo se centra en la búsqueda de estrategias de intervención profesionales que supongan una reducción de la incidencia lesional en el contexto deportivo (prevención), la disminución de la duración de la situación lesiva o una incorporación rápida y segura al entrenamiento y competición del deportista (readaptación físico-deportiva).

En este sentido, la prevención podría representar una propuesta de acción profesional y científica que permita al deportista mantenerse “libre” de lesión. Por otro lado, la readaptación físico-deportiva y, más concretamente, el reentrenamiento al esfuerzo físico-deportivo del gesto deportivo durante la lesión, representa un medio de acción para el reestablecimiento y/o mejora de la “*salud deportiva*” (física, psíquica y social) del jugador una vez que se haya manifestado la patología.

La prevención de lesiones y la intervención propiamente dicha por medio de la readaptación físico-deportiva deberían tener por objetivo el incremento de la “*esperanza de vida deportiva*” del deportista. Esto lleva consigo que muchos profesionales y deportistas se preocupen por el estado de salud buscando lo que podríamos denominar como un “*óptimo estado de salud-deportiva*”.

La responsabilidad de reestablecer, desarrollar, mejorar y/o mantener la salud-deportiva del deportista recae en todos aquellos profesionales dedicados a la actividad física, el deporte y la salud. Sin embargo, aunque muchos profesionales se han dedicado durante años a la prevención y readaptación del deportista lesionado, su actuación no ha tenido el reconocimiento necesario dentro de los ámbitos funcionales de la salud y del deporte.

En muchas ocasiones, las medidas puestas a disposición del jugador para disminuir el riesgo de lesión, o para intervenir durante el proceso de recuperación, se han basado más en

propuestas del tipo ensayo-error, que en propuestas sustentadas en criterios científicos de actuación. Estos aspectos, unidos a la falta de formación científico-académica especializada, han provocado la existencia de un “*periodo de vacío*” entre la fase o ámbito clínico (*médico-terapéutica*) y el ámbito o fase “no clínica” (*reentrenamiento físico-deportivo*) de la recuperación funcional deportiva y readaptación física de las lesiones deportivas. En muchos casos la falta de delimitación de las competencias profesionales entre los ámbitos funcionales de actuación (deporte-salud) y el reparto de responsabilidades a lo largo del proceso, han provocado un conflicto de intereses y un problemática difícil de resolver.

Esta “*laguna científico-profesional*”, debe ser asumida mediante la formación especializada de los profesionales que así lo deseen basada en las propias necesidades académicas y profesionales que éstas situaciones reclaman. Esta responsabilidad debería ser competencia de los centros universitarios y de las distintas instituciones públicas y privadas, entre las que se encuentran los clubes deportivos, creadas para tal fin. Con ello, existiría la posibilidad de conocer un ámbito de intervención profesional efectivo y, además, de ofertar a la sociedad profesionales con competencias específicas en un área muy determinada que en la actualidad posee una demanda social importante.

En este sentido, parece muy conveniente cualquier intento o iniciativa cuyo fin sea fomentar, promover y orientar la formación y el desempeño profesional en todos aquellos aspectos relacionados con la salud deportiva y el rendimiento deportivo. Sensibles a estas necesidades, resulta satisfactorio observar el interés manifestado en los últimos años por diferentes instituciones universitarias y deportivas que han iniciado la formación especializada o han ido incorporando poco a poco profesionales dedicados a la prevención y readaptación físico-deportiva de las lesiones, respectivamente.

La recuperación, desarrollo y mejora de la forma deportiva tras la lesión es un proceso complejo que exige la necesaria coordinación del equipo de trabajo. En este sentido, Bricker y Fry (2006), observan que cuando los deportistas perciben un fuerte apoyo social por parte de los profesionales que diseñan y ejecutan los programas de recuperación (*athletic trainers*) creen más en la eficiencia y eficacia de los programas. Por ello, se observa la necesidad de formar y preparar a los profesionales en esta materia, y delimitar las competencias profesionales en relación con los demás miembros del equipo de trabajo (médicos, terapeutas, preparadores físicos, etc).

En el marco español, la responsabilidad en esta área de actuación funcional podría



recaer en el *readaptador físico-deportivo* (RaFD). Estos profesionales deben poseer una amplia formación teórica y práctica en la prevención y asistencia de lesiones deportivas, ayudando a mejorar los servicios de los equipos médico-terapéuticos de las instituciones deportivas (Pfeiffer y Magnus, 2000).

## II. La lesión deportiva

En la actualidad, las exigencias deportivas han marcado la etiopatogenia de ciertos traumas que inciden de manera relevante en la prevalencia e incidencia de patologías del aparato locomotor. En este sentido, las *lesiones deportivas* tienen una gran importancia en el contexto del deporte pues conllevan un tiempo de inactividad con múltiples consecuencias adversas, más o menos perjudiciales en función de la gravedad de la lesión, del momento en el que se producen y de su evolución (Pfeiffer y Magnus, 2000). Las lesiones deportivas deben considerarse eventos perjudiciales por diferentes motivos o características (Buceta, 1996): suponen una disfunción del organismo, conllevan una interrupción o limitación en la práctica física y de las actividades extradeportivas, suponen cambios en el entorno deportivo. Implican, en general, cambios en la vida personal y familiar. Su rehabilitación exige tiempo, esfuerzo y dedicación, resistencia a la frustración y al dolor. Suelen ir acompañadas de experiencias psicológicas que afectan el funcionamiento y bienestar de la persona lesionada y de los que la rodean.

Para San Román (2003), en lo que respecta a los preparadores físicos lo realmente importante, además de la lesión en sí, son sus consecuencias sobre el entrenamiento y la competición. En este sentido, para algunos deportistas significan el abandono total o parcial de la práctica deportiva, con secuelas que pueden permanecer el resto de la vida. Además de las pérdidas deportivas, las lesiones deportivas suponen pérdidas económicas considerables (Buceta, 1996). Es por ello que los preparadores físicos tienen un papel importante como observador-consejero y realizador de la última fase de adaptación del lesionado a ritmo de competición (Silla, 1989). También, San Román (2003), señala que en el diseño de herramientas de control y seguimiento del entrenamiento y, concretamente, de las lesiones, se han de contabilizar los *días de baja deportiva* cuando por una lesión, o por la baja forma deportiva derivada de ella, un jugador no pueda realizar el entrenamiento con la misma carga que realiza el equipo o cuando por lesión no esté disponible para competir.

Un aspecto importante a la hora de plantear propuestas científico-profesionales es la necesidad por unificar criterios en relación con la definición de lesión deportiva. Actualmente

no existe una definición única y universal de lo que es la lesión deportiva (Pfeiffer y Magnus, 2000). En la literatura científico-médica más conocida, nos encontramos con que en las investigaciones realizadas no hay mucho consenso en cuanto a los conceptos que hacen que se contabilice una lesión deportiva (Junge y Dvorak, 2000; San Román 2003; Fuller et al., 2007; Hodgson et al., 2007).

Algunas de las definiciones revisadas sobre lesión deportivas las mostramos en la Tabla I.1 (San Román, 2003).

<b>Tabla. I.1. Definiciones de lesión deportiva</b>	
<b>Autor/es</b>	<b>Definición</b>
(Ekstrand et al., 1983 y 2004; Nielsen et al., 1989; Engström et al., 1990); Latella et al., 1994); Anderson et al., 2004; Waldén et al., 2005).	Cualquier lesión que ocurre durante partidos o entrenamientos programados que causa la pérdida del próximo entrenamiento o partido.
(Lüthje et al., 1996).	Incidente que conlleva al jugador perder o dejar parte o todo el entrenamiento o partido.
(Albert, 1983).	Lesión, enfermedad y todo incidente que es tratado y definido por un médico como lesión.
(Fuller et al, 2004).	Cualquier queja física que recibiera atención del médico del equipo después del partido.
(Hawkins et al, 2001; Woods et al, 2002 y 2004).	Lesión...cuando mantiene al deportista fuera de los entrenamientos y partidos por más de 48 horas, no incluyendo el día de la lesión.
(Volpi et al, 2004).	Todos los accidentes que requerían a un jugador retirarse para tres o más días.
(Dvorak et al., 2000; Peterson et al., 2000).	Cuando haya cualquier daño causado por el fútbol, sin importar las consecuencias con respecto a la ausencia al entrenamiento o partidos.

Estudios realizados sobre la incidencia lesional en el fútbol varían en la definición, diseño, métodos de recogida de los datos y el período de la observación. Junge y Dvorak (2000), realizaron una revisión de la literatura con el objetivo de analizar las diferentes metodologías aplicadas en el registro de las lesiones en el fútbol, así como, analizar los métodos de recogida de datos sobre la incidencia lesional. En los estudios más recientes observaron que un jugador es definido como *lesionado* si él fue incapaz de participar en el próximo partido o entrenamiento. Sin embargo, esta definición ha obtenido ciertas críticas puesto que contiene ciertas imprecisiones que se concretan en tres aspectos básicos: su aplicabilidad depende de la frecuencia de entrenamiento, la situación lesiva puede obligar a modificar ciertos aspectos del entrenamiento sin que el deportista permanezca ausente del mismo y/o pueden existir otros factores tales como la disponibilidad de tratamiento médico-terapéutico o la importancia del juego o competición.

El National Athletic Injury Registration System (NAIRS) del los Estados Unidos ha

realizado una definición de lesión deportiva que es pocas veces utilizada pero parece la más adecuada. Así, entiende por lesión como impedimento o limitación por al menos un día para la actividad deportiva después del evento. Esta definición es más precisa, pero no resuelve la problemática puesto que otros factores deberían ser tenidos en cuenta (tipo, gravedad, mecanismo, etc). Por otro lado, el Consejo de Europa expone que son necesario al menos uno de los siguientes criterios para que una lesión sea considerada como tal (Van Mechelen et al., 1992): la reducción de la cantidad de actividad deportiva, la necesidad de tratamiento médico y los efectos adversos sociales o económicos que de ella se derivan.

Para Fuller et al. (2007), las lesiones deben entenderse como un daño corporal o quejas causadas por una transferencia de energía que excede la capacidad para mantener la estructura y/o función íntegra durante el entrenamiento o competición y que requiere de atención médica o una restricción de la actividades deportivas.

La mayoría de propuestas de lesión han sido realizadas desde una perspectiva médico-terapéutica y muchas de ellas son contexto-dependientes. Es por ello que podríamos aventurarnos a formular una propuesta a efectos de contextualizar el fenómeno dentro del área del las Ciencias de la Actividad Física y Deporte y, concretamente, dentro del ámbito funcional del preparador físico. Para realizar una propuesta de definición de lesión deportiva podemos tener en consideraciones una serie de aspectos entre los que se distinguen los siguientes: factores motivadores, evolución, días de baja, tiempo de exposición, relación con las actividades cotidianas del individuo y el perfil lesional (tipo, gravedad y mecanismo lesional). Así, la lesión deportiva puede ser entendida como:

***“Daño corporal que afecta al bienestar, causado por un mecanismo directo o indirecto en una región anatómica, que cursa de modo agudo o crónico, manteniendo al sujeto fuera de su actividad físico-deportiva durante un período mínimo de 24 horas o un día, que puede provocar un deterioro de la capacidad funcional, de su competencia física o el final de su vida deportiva...”***

Otro aspecto a destacar tiene que ver con la complejidad de la prevención y la intervención en relación con las lesiones deportivas (agudas o crónicas). Este aspecto requiere de ***equipos multidisciplinarios*** en los que el equipo médico, los terapeutas y los preparadores físicos, al igual que otros profesionales del ámbito de la “salud deportiva”, intervengan de manera coordinada con el fin de incorporar, ***lo más rápidamente posible y con seguridad***, al deportista a su entorno habitual: el entrenamiento y la competición. De este modo podemos

identificar y aportar un modelo de estructura, organización e interrelación entre los miembros del equipo de trabajo (fig. 1).

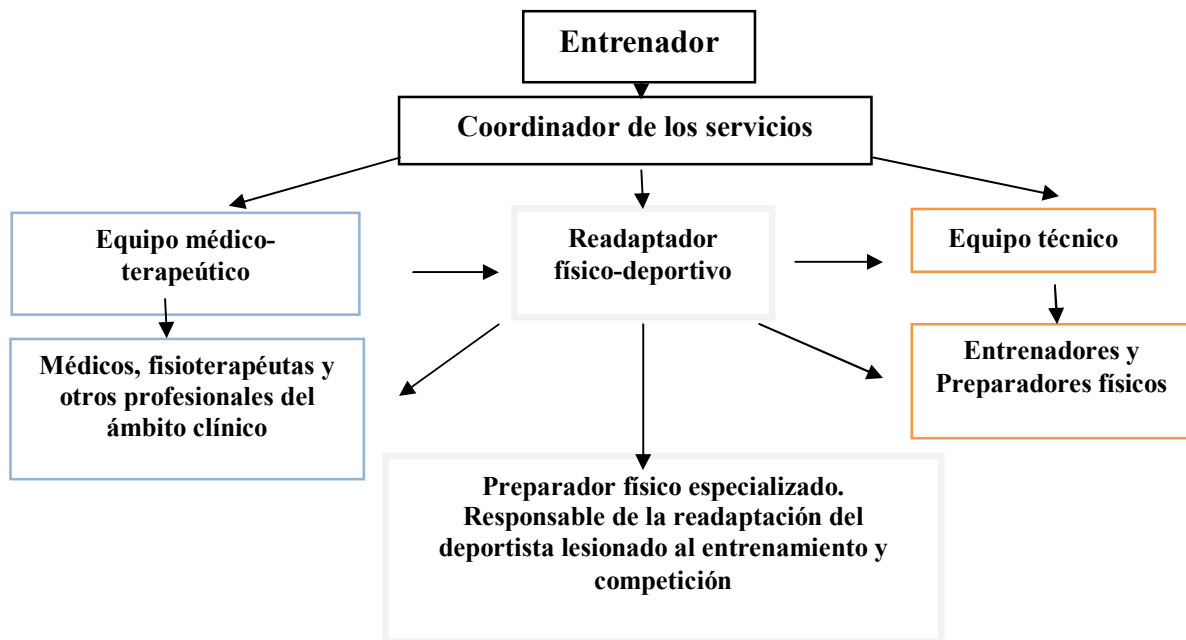


Figura.1. Estructura, organización e interrelaciones del equipo multidisciplinar en la intervención en relación con las lesiones deportivas.

Las lesiones constituyen contratiempos adversos que, por desgracia, no pueden evitarse del todo, pues la propia actividad deportiva conlleva implícito el riesgo de que se produzcan (Devís y Peiró, 1992; Santonja et al., 1996; Pfeiffer y Magnus., 2001; Casais, 2008). Las exigencias deportivas, las numerosas situaciones que requieren contacto corporal y el juego que implica el golpear, correr, girar, estirar, regatear, saltar, acelerar, aterrizar, caer, lanzar, cabecear, recibir entradas, colisionar, frenar la masa corporal, cambiar de ritmo y de dirección, entre otras acciones, son responsables de las muchas y diferentes lesiones (Aglietti et al., 1999; Hawkins et al., 2001; Woods et al., 2002; Wong y Hong, 2005). Sin embargo, se puede conseguir que este riesgo se disminuya (readaptación físico-deportiva para la prevención) o que, por otro lado, su evolución sea más favorable y la incorporación del deportista se realice en el menor tiempo posible y de la forma más eficaz, eficiente y segura (recuperación funcional deportiva/readaptación físico-deportiva para el entrenamiento y la competición) en función del análisis de los factores de riesgos y de protección (medidas profilácticas) que influyen en la manifestación de las lesiones.

Según Shrier (2007), las causas, entendidas como eventos antecedentes, condición o característica que es necesaria para la ocurrencia de la lesión son muy heterogéneas. Éste

riesgo multifactorial puede ser dividido en (Meeuwisse y Love, 1997; Pakkari et al., 2001; Murphy et al., 2003; Meana, 2008): *riesgos extrínsecos* (el estado del terreno de juego, los factores climáticos, el material deportivo o los adversarios) y *riesgos intrínsecos* (el estado de preparación física, el dominio técnico o la experiencia). Meeuwisse (1992 y 1994) expuso un modelo multifactorial de la etiología de las lesiones deportivas (fig 2), destacando el efecto de los mismos sobre la predisposición o susceptibilidad del deportista.

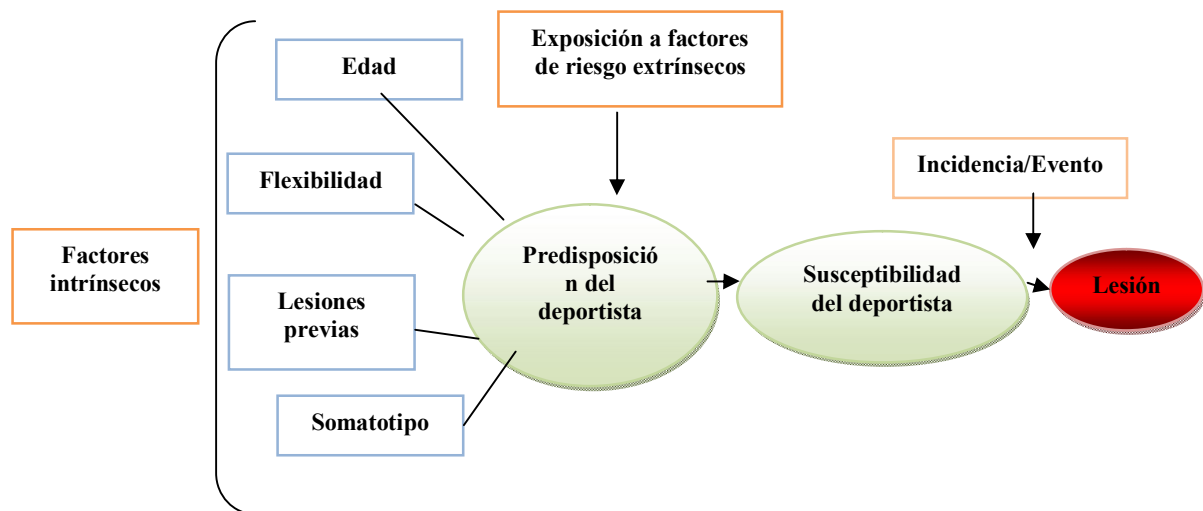


Figura 2. Modelo interpretativo de los factores de riesgo de lesión (Meeuwisse (1992))

Entre otros factores que conduce a una mayor predisposición y/o precipitación de las lesiones deportivas podemos señalar: el *nivel de destreza* (Junge et al., 2002), las características de la *superficie de los terrenos de juego* (González y Martín, 2001; Orchard, 2002; Durá et al., 2003; Orchard et al., 2005; Ekstrand et al., 2006; Steffen et al., 2007; Fuller et al., 2007), una *actitud tónico postural desequilibrada* (McGill, 2001; Arroyo et al., 2004; Petersen et al., 2005; Anderson y Behm, 2005; Isidro et al., 2007; Zazulak et al., 2007), un *calentamiento* inadecuado (Knight et al., 2001; Junge et al., 2002; Bishop, 2003; Fradkin et al., 2006;; Olsen et al., 2005), la falta inclusión de *trabajo propioceptivo* (Lephart et al., 1998; Ashton-Miller et al., 2001; Thacker et al., 2003; Fu et al., 2005; Zazulak et al., 2007), de *fuerza muscular* (Hughes y Watkins, 2006), o de *flexibilidad* (Witvrouw et al., 2004; Thacker et al., 2004; Witvrouw et al., 2007), una *recuperación* insuficientes y/o inadecuadas (Cos y Cos, 1992; Stephen et al., 2002) y los *hábitos y los estilos de vida* del deportista (Buceta, 1998).

Las lesiones constituyen un desafío para los distintos profesionales cuyo éxito depende en gran medida de una actuación multidisciplinar coordinada, rigurosa y exhaustiva atendiendo a tres variables de observación (Rodríguez y Gusi, 2002): el deporte, la persona y

el contexto. Como hemos visto, la enorme heterogeneidad de los factores de riesgo, definen un rasgo predominante en la actuación en relación con las patologías deportivas: *su complejidad de diagnóstico y tratamiento, prevención y/o readaptación físico-deportiva*.

En el plan de actuación diseñado por los distintos profesionales se contemplan las estrategias de intervención en los que se refiere al diagnóstico, recuperación funcional y readaptación física deportivas en sus dos vertientes (preventiva y de intervención propiamente dicha). Las principales acciones que pueden desarrollar los profesionales en dichos ámbitos funcionales podemos integrarlas en tres fases (Rodríguez y Gusi, 2002): evaluación, prevención e intervención (fig. 3).

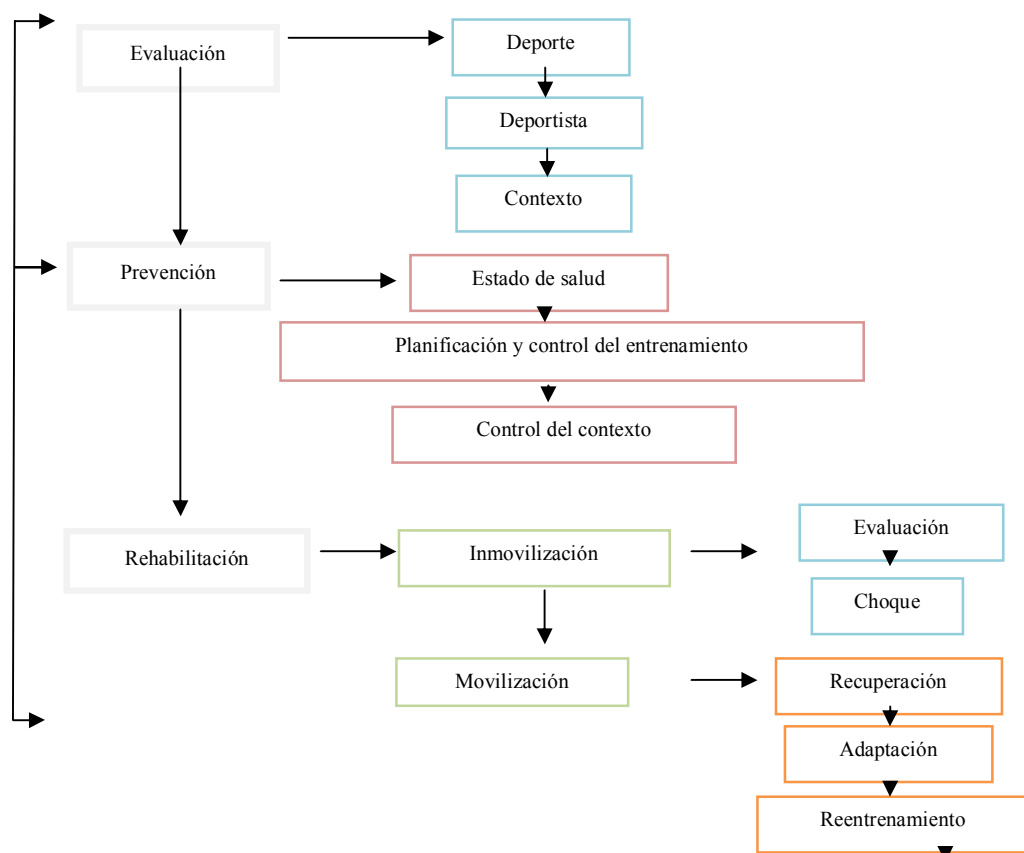


Figura 3. Modelo general de intervención ante las lesiones deportivas (Rodríguez y Gusi, 2002).

### III. La readaptación lesional del gesto deportivo

El deporte es considerado el mayor movimiento popular de nuestro país que es concebido como una actividad de convivencia que origina contactos, comunidad y conocimiento, aparte de ser saludable, divertido, relajante y emocionante (Guillén, 1996). El conocimiento de sus beneficios ha conducido a un gran número de personas a practicar deporte con cierta regularidad en el ámbito recreativo y a un aumento de la presión sobre los

deportistas y de la intensidad de sus esfuerzos para mejorar sus resultados en el ámbito competitivo (Bouchard y Shephard, 1994; Biddle., 1995; Rodríguez, 1995a y 1995b; Shephard, 1995a y 1995b; Pate et al., 1995; De Andrés y Aznar., 1996; Sánchez Bañuelos., 1996; U.S Surgeon General., 1996; Delgado Rodríguez et al., 2001 y Tercedor., 2001; Shrier, 2007).

En el contexto competitivo y, más concretamente en los *deportes de equipo*, entendidos como una actividad lúdico-agonística donde se pretende la victoria y se produce un sistema de idealismos identificativos convergentes para mantener una realidad común de interacciones; de cooperación entre compañeros a través de comunicaciones motrices acertadas, y de oposición con los adversarios en conflictos de contracomunicación; determinados por la situación colectiva o individual de posesión o no del móvil, que provocan ajustes sociomotores y psicomotrices permanentes con alternancia en el predominio de las vías energéticas y sus diferentes interconexiones, también con alternancia de ciclos de trabajo muscular (ciclos de estiramiento-acortamiento, más lentos y/o rápidos), pretendiendo la posibilidad individual de participar al nivel necesario de exigencia (defensa-ataque) en todas las conductas decisivas (Martín Acero, 1994), los participantes no están libres de sufrir una patología deportiva.

Este aspecto exige que los distintos profesionales diseñen y desarrollen planes de actuación para prevenir o, en el caso de que se produzca una lesión, actuar de forma organizada y sistemática para incorporar al deportista completamente a la actividad. El conjunto de las estrategias a diseñar se enmarcan dentro del área de la *readaptación lesional*, entendida como el *conjunto de medidas médico-terapéuticas y físico-deportivas destinadas a prevenir los riesgos de lesión, reestablecer y desarrollar la salud deportiva y mejorar u optimizar el rendimiento del deportista para posibilitar una mayor vida deportiva*. Por *salud deportiva* podríamos definirla como *el grado de bienestar<sup>1</sup> y de competencia deportiva<sup>2</sup> que permita al deportista expresar, a un nivel elevado, los presupuestos de rendimiento en el entrenamiento y la competición, así como la disminución del riesgo de lesión lo máximo posible*. El objetivo perseguido deberá centrarse en el desarrollo, mejora y mantenimiento de lo que podríamos denominar como *“óptimo estado de salud-deportiva”* el mayor tiempo posible. Para Lloret (1990) representa el área específica de trabajo del equipo médico y deportivo que utiliza los conocimientos y enseñanzas de la cinesioterapia activa para su

---

<sup>1</sup> Se puede entender como el conjunto de percepciones subjetivas de humor y felicidad (Devís, 2000).

<sup>2</sup> Entendiendo por competencia deportiva el estado de aptitud que se relaciona con el sentimiento de bienestar (físico, psíquico y social) durante la realización de una práctica físico-deportiva.

aplicación en la rehabilitación del deportista lesionado, en su vertiente preventiva o de readaptación deportiva propiamente dicha.

Dentro del área de la readaptación lesional podríamos definir dos ámbitos funcionales de actuación profesional con objetivos, medios y competencias diferentes, pero en ocasiones comunes en cuanto a una de sus herramientas de trabajo; el ***ejercicio físico***: la ***recuperación funcional deportiva*** (RFuD) y la ***readaptación físico- deportiva*** (RFiD).

La RFuD puede definirse como el tratamiento o entrenamiento funcional sistemático de lesiones o disfunciones del aparato locomotor activo, de los aparatos de sostén y de apoyo pasivo y de los sistemas neuromuscular y cardiopulmonar, con el fin de reestablecer la función normal (Einsingbach et al., 1994). Esparza (1994) considera que es el proceso mediante el cual el escalón médico-sanitario cura la estructura lesionada y recupera la función normal. También puede ser considerada como parte de la rehabilitación que utiliza el movimiento deportivo, producido por la actividad muscular con *finalidades meramente terapéuticas* y con unos objetivos traumatológico, circulatorios y nerviosos, claramente reconocidos (Lloret, 1990).

Los primeros intentos en nuestro país por conceptualizar el entrenamiento cuya finalidad es la de adaptar al deportista a los esfuerzos antes, durante y después de una lesión se lo debemos al profesor Seirul-lo quien, en 1986, definió el concepto de ***entrenamiento coadyuvante***. Bajo éste epígrafe se encuentran aquellas formas de entrenamiento que ayudan a la medicación y contribuyen de modo fundamental en la prevención de lesiones de los deportistas, participando ocasionalmente en la eficacia de la terapia post-lesional. Desde entonces, han existido diferentes intentos por definir y desarrollar esta área de intervención.

Lloret (1990) la define como área de conocimiento que perseguirá un trabajo exhaustivo de recuperación de las funciones de un deportista lesionado mediante un ***programa de entrenamiento especial***, que debe planificarse y en el cual deben figurar los ejercicios destinados a mejorar: la movilidad articular, la fuerza y el balance artromuscular. Por RFiD se entiende el proceso mediante el cual se readapta a la persona a las necesidades motoras previas a la lesión de: fuerza, persistencia, rapidez y coordinación (Soage, 1998). Desde nuestro punto de vista, puede representar el *proceso de reajuste o modificación de los parámetros físico-deportivo-motores, generales y específicos del gesto deportivo, con el objeto de incorporar de la forma más rápida y segura posible al individuo a la práctica deportiva, utilizando todos los recursos disponibles.*



Para Commandre et al (1996), la readaptación físico-deportiva representa un período capital en el cual se integra la reeducación del deportista lesionado con las particularidades de las exigencias de la modalidad deportiva. Es la hora de la verdad. El deportista comienza la recuperación hacia su disciplina deportiva enfrentándose de nuevo a las exigencias del entrenamiento y competición. En ambos contextos se completa el entrenamiento del repertorio gestual de los esfuerzos mediante el entrenamiento de fuerza muscular y la propiocepción dirigida sin olvidar el trabajo de resistencia, coordinación y rapidez (Soage, 1998; Prentice, 2001).

En la fig. 4, se presentan las posibles relaciones existentes entre los términos anteriormente expuestos:

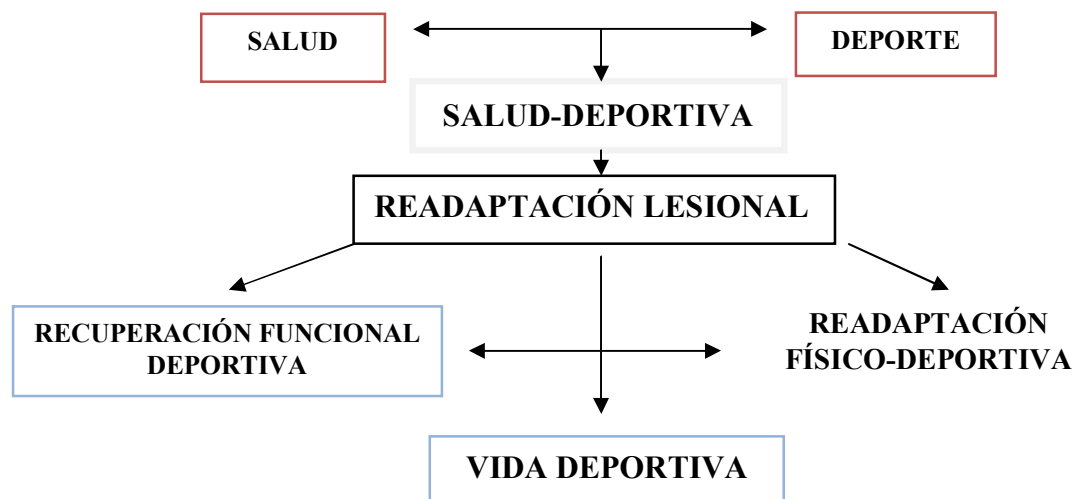


Figura 4. Relaciones entre la salud deportiva y vida deportiva del deportista lesionado

Tanto la RFuD como la RFiD tienen un ámbito de actuación que delimita las competencias profesionales. Así, la RFuD se restringe a un *ámbito clínico* que utiliza las técnicas y modalidades propios de la terapia aplicada a las lesiones deportivas (termoterapia, crioterapia, hidroterapia, talasoterapia, electroterapia, poleoterapia, terapia manipulativa articular, cinesioterapia, entre otras).

Por su parte, la RFiD pertenece a un *área de intervención no clínica* cuyo principal medio de intervención es el *reentrenamiento al esfuerzo físico* (REEF), entendido como el *proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el cual se reestablecen y mejoran los patrones físico-motores (generales y específicos) de un deportista, facilitando en el menor tiempo posible, un estado de bienestar óptimo para el esfuerzo y el rendimiento que le garantice la*

*incorporación a su actividad habitual con normalidad y diligencia.* Otros autores lo definen como la reprogramación del proceso de entrenamiento después de una lesión (Esparza, 1995), o como el proceso que tiene por objeto la recuperación de la forma deportiva y la plena reincorporación a la práctica deportiva (Gal, 2001).

El nexo de unión entre ambos campos profesionales y, por lo tanto, la herramienta de intervención más útil para la prevención y/o tratamiento de las lesiones deportivas, es el *ejercicio físico*. En la fig.5 se muestran las relaciones existentes entre la RFuD y la RFiD.

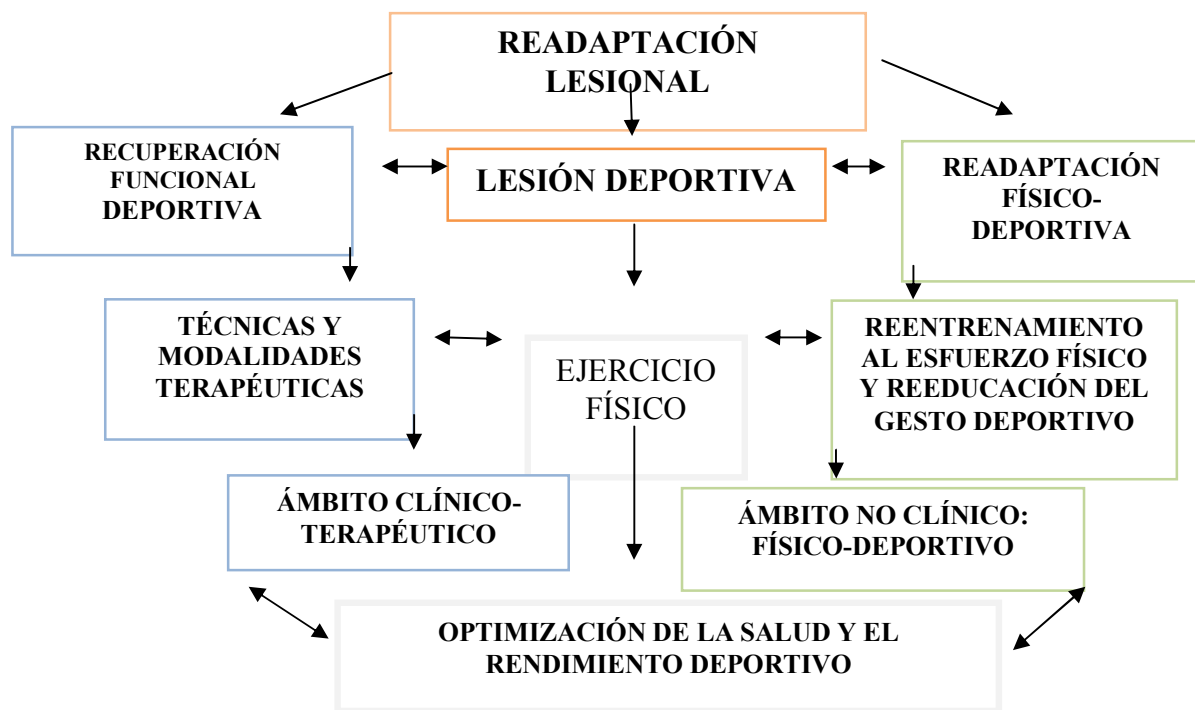


Figura 5. Relaciones entre los ámbitos de actuación y los medios de intervención para la readaptación lesional del deportista lesionado

En la actualidad, tanto los clubes, equipos médico-terapéutico y técnicos, podrían asumir que la prevención de las lesiones deportivas es una responsabilidad de todos y, además, debería quedar claro de que después de una lesión y tras superar la etapa de RFuD, el deportista necesita un trabajo específico y especializado de adaptación deportiva antes de incorporarse a los entrenamientos con el grupo y a la competición. Si no es así, los procesos de recuperación estarían condicionados a una prescripción de ejercicio o de tareas inadecuadas e insuficientes provocando, no sólo una reincorporación del deportista a la competición más lenta o precipitada con un mayor riesgo de recaída, con lo que se dificulta el objetivo de conseguir el estado óptimo de forma (Tarragó et al., 2004).

#### **IV. Reentrenamiento físico-deportivo del deportista lesionado**

El deporte de competición exige que los deportistas rindan al máximo de sus posibilidades (Buceta, 1998). Para ello, es necesario ordenar sistemáticamente los objetivos y contenidos de entrenamiento en base a las variables individuo, modalidad, entrenamiento, lesión y los elementos que las definen con el fin de:

- Definir las exigencias de la modalidad en particular
- Incrementar las prestaciones del jugador (disponibilidad neuro-psicomotriz, bioenergética, biomecánica e informacional).
- Integrar los contenidos condicionales, técnico-tácticos y psicológicos (entrenamiento integrado).
- Prevenir el riesgo lesional mediante la incorporación de estrategias de actuación en base a criterios científicos.
- Adaptar la situación lesiva a las exigencias funcionales de los esfuerzos de entrenamiento y competición (readaptación físico-deportiva específica e individualizada).

En reentrenamiento físico-deportivo representa la forma o medio básico de facilitar y garantizar el proceso de readaptación al esfuerzo deportivo del individuo lesionado. Las variables individuo, modalidad, entrenamiento y lesión quedan definidas por una serie de parámetros que permiten, al *readaptador-preparador físico-deportivo*, realizar una aproximación hacia aquellas características a tener en cuenta para la prevención y/o intervención en relación con las lesiones deportivas. Entre estas características se podrían describir las siguientes subcategorías (tabla I.2).

<b>Tabla I.2. Variables de estudio para la intervención (Lalín, 2002)</b>
<b>Individuo.</b> historia deportiva y lesional, años de práctica, deportes practicados, valoración funcional, análisis postural y/o valoración artromuscular, hábitos de vida diaria, hábitos deportivos, etc.
<b>Modalidad deportiva.</b> puesto específico, categoría o nivel, prevalencia e incidencia lesional (epidemiología), exigencias anatómicas, biomecánicas, fisiológicas, psicológicas, psicomotrices o bioenergéticas de la modalidad, etc.
<b>Entrenamiento o reentrenamiento al esfuerzo.</b> Condiciones de entrenamiento, adecuación de materiales, criterios y orientaciones didáctico-metodológicas, criterios de seguridad, frecuencia, duración, intensidad de práctica, cualificación del equipo técnico, fecha de incorporación al entrenamiento, planificación y características de la programación de ejercicio físico para la readaptación al esfuerzo, seguimiento y control de la evolución, etc.
<b>Lesión deportiva.</b> Tipo, mecanismo de lesión, fecha de operación, fecha de inicio de la fase de rehabilitación funcional terapéutica, fecha de inicio de la recuperación funcional deportiva, fecha de inicio de la readaptación al esfuerzo en fase preventiva, fecha de inicio de la fase de readaptación físico-deportiva, fecha final los períodos, región anatómica afectada, prevalencia e incidencia lesional relativa, momento y lugar de la lesión, mecanismo, diagnóstico diferencial, seguimiento y control de la evolución, etc.

En relación con la perspectiva preventiva las estrategias o secuencias de prevención (fig.6), deberían seguir un modelo que tenga en consideración una serie de aspectos si queremos disminuir los riesgos que la práctica competitiva conlleva (Van Mechelem et al., 1997): establecer la magnitud del problema y describirlo en términos de cantidad, incidencia, severidad y consecuencias (incapacidad funcional y costes) de las lesiones, identificar los factores de riesgo y los mecanismos que provocan las lesiones, introducir las medidas necesarias para reducir el riesgo y la severidad de las lesiones y evaluar el efecto de las medidas implementadas.

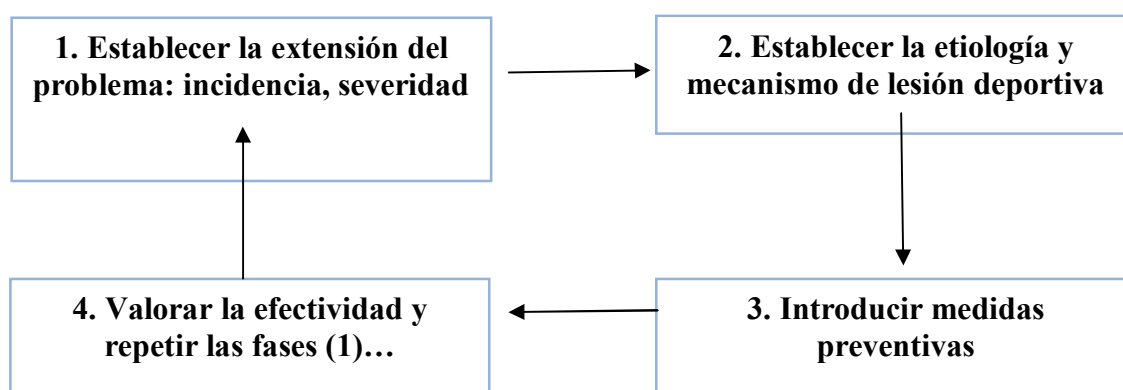


Figura 6. Secuencia de prevención (Van Mechelen, 1997).

Otros autores han descrito las medidas a considerar para una correcta prevención de las lesiones podemos señalar (Junge y Dvorak, 2002): un calentamiento con mayor énfasis en el stretching, una vuelta a la calma progresiva y regular, una recuperación adecuada y con tiempo suficiente, entrenamiento propioceptivo, material protector, los terrenos de juego en buenas condiciones y la adherencia o respeto a las normas

En relación con lo expuesto podemos definir un modelo interpretativo de las relaciones que establecen durante el proceso de readaptación físico-deportiva y la reeducación del deportista lesionado. Así, entre las variables a tener en cuenta en el proceso de reentrenamiento al esfuerzo del deportista lesionado podemos distinguir los siguientes (fig.7):

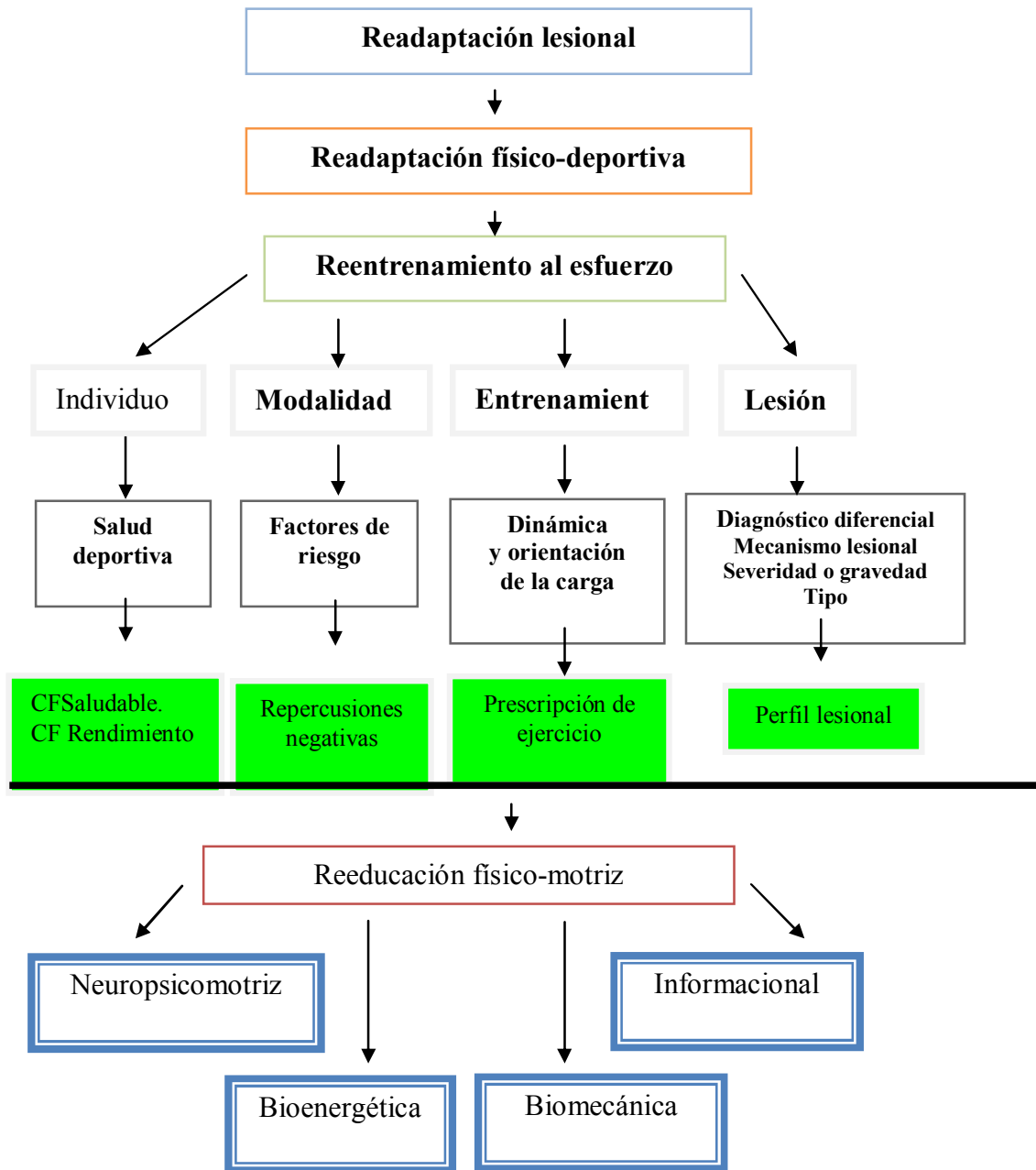


Figura 7. Modelo de intervención en readaptación físico-deportiva. Variables a tener en cuenta en el proceso de reentrenamiento al esfuerzo del deportista lesionado.

El conocimiento de estos aspectos va a permitir la elaboración de un plan de actuación mucho más cercano a la realidad del deportista lesionado. Con ello, puede obtenerse una información relevante para la correcta planificación y aplicación del entrenamiento específico e individualizado del deportista.

El *programa de reentrenamiento* para la readaptación físico-deportiva al esfuerzo está constituido por un conjunto ordenado y sistemático de recomendaciones para el reestablecimiento de la salud deportiva y el desarrollo y/o mejora de la competencia funcional del sujeto lesionado, con el fin de optimizar los presupuestos de rendimiento para la competición deportiva. Queda definido por el tipo de actividades a desarrollar, la intensidad, duración y frecuencia de los esfuerzos y, por último, por la progresión que se pretenda para alcanzar lo antes posible los objetivos (Bouchard et al., 1994; Rodríguez, 1995; ACSM, 1999). Además, debe apoyarse en criterios de *seguridad deportiva* definiéndose como el *conjunto de consejos físico-deportivos destinados a garantizar una salud deportiva*.

La actividad del deportista en el proceso de reentrenamiento, debe dirigirse hacia la adquisición, perfeccionamiento y consolidación de recursos útiles y eficaces que optimicen sus posibilidades de rendimiento una vez incorporado al entrenamiento del equipo y a la competición (Buceta, 1998). Distinguiremos por lo tanto dos aspectos a tener en cuenta: la capacidad de rendimiento para el entrenamiento a un nivel igual o superior al resto del equipo una vez que se incorpora y, por otro lado, el rendimiento del deportista una vez que se reintegra a la competición oficial. El primero de ellos, hace referencia al nivel de asimilación de la información, la ejecución de conductas y el desarrollo de hábitos para la aplicación de los recursos del deportista en el entrenamiento; mientras que el segundo, implica la apuesta en práctica, eficaz, de los recursos disponibles para la competición (Buceta, 1998).

La preparación del deportista lesionado representa un proceso didácticamente organizado con su sistema metodológico de aplicación de los ejercicios físicos orientados a la obtención de la máxima disposición de los presupuestos de rendimiento deportivo. De este modo, podemos definir varios sistemas que integran el entrenamiento de readaptación físico-deportiva y que permiten identificar el tipo de entrenamiento y, por consiguiente, identificar qué propuesta de tareas se pueden aplicar. Entre ellos podemos destacar (Seirullo, 1986; Silla, 1989; Mula, 1996):

- **De aplicación antes de la lesión** (entrenamiento supresivo).
- **De aplicación durante la lesión** (entrenamiento de evitación y entrenamiento alternativo).
- **De aplicación durante la recuperación** (entrenamiento post-dramático y entrenamiento perentorio o de resolución final).

El sistema debe ser observado y expuesto como un *continuum* entre los diferentes subsistemas. De este modo, se identifica una primera fase que pertenece al ámbito preventivo propiamente dicho y, posteriormente, se desarrollan otros períodos, relacionados con la recuperación funcional de la zona afectada y el mantenimiento de las capacidades de las no afectadas. El último sistema representa el proceso de readaptación físico-deportiva diseñado específicamente para el deportista lesionado. El punto de unión entre ellas correspondería al *control y seguimiento* que el readaptador debe tener del lesionado tras el retorno al entrenamiento con el grupo y a la competición oficial con el objetivo de evitar, en la medida de lo posible, una recaída u otra lesión.

Las actuaciones “postlesionales” de control y seguimiento del lesionado deberían dirigirse hacia la prevención de la recaída del deportista y hacia el consejo y asesoramiento del equipo técnico en aquellos aspectos que veamos convenientes en relación con los ejercicios o tareas a realizar en el entrenamiento. Las recaídas tiene que ver con el concepto de severidad de la lesión definido como el número de días perdidos desde la fecha de la lesión hasta la fecha de incorporación completa a las actividades de entrenamiento con el grupo y competición (Fuller et al., 2007). Tiene que ver con la ocurrencia de una lesión del mismo tipo y localizada en la misma región *anatómica* después de que el jugador retome la actividad. Si la recaída sucede antes de los 2 meses después de la vuelta a la actividad se considera *temprana*; entre 2 y 12 meses es *tardía*; y, después de 12 meses se considera *retardada*. Por lo tanto, el proceso de readaptación físico-deportiva ni finaliza con la vuelta a la competición del deportista, sino que requiere de una atención adecuada y especializada a lo largo de un período dependiente de los factores analizados.

En base a los períodos de entrenamiento preventivo o “patológicos” el proceso debería estructurarse en fases estructurales con el objetivo de definir los objetivos y contenidos de los programas. Actualmente, algunos autores han aportado una propuesta de delimitación de las fases del programa de entrenamiento para la readaptación del deportista lesionado (tabla I.3).

<b>Tabla I.3. Fases del período de readaptación ante una lesión muscular (Tarragó et al., 2004).</b>	
<b>Fases del proceso</b>	<b>Características</b>
Fase de profilaxis o prevención: – Entrenamiento coadyuvante	Tener en consideración el papel del trabajo excéntrico para la prevención de lesiones, la dinámica de los calentamientos y de los estiramientos y la preparación física del deportista fuera de la temporada.
Fase de sustentación: – Entrenamiento de evitación – Entrenamiento de mantenimiento	Se prolonga desde el momento en que se produce la lesión hasta el momento en que el equipo médico indica que se puede empezar a trabajar con la zona afectada.
Fase durante la recuperación: – Entrenamiento de cooperación – Entrenamiento alternativo	Se da cuando el deportista ha superado el período de inmovilización y ya ha empezado el de rehabilitación. El objetivo es el refuerzo o ejecución de parte del tratamiento de rehabilitación hasta el alta médica.
Fase de desenlace o perentoria	Una vez obtenido el alta médica, debemos perseguir el objetivo de reconducir al atleta a su estado de forma óptimo y llevarlo a la competición lo más rápido y seguro posible. Cobra importancia el diseño de ejercicios específicos realizados a alta intensidad y adaptados de forma especial a las exigencias de la propia competición y a las necesidades del deportista.

No olvidemos que, independientemente del tipo de entrenamiento que se quiera plantear, los objetivos y contenidos a desarrollar deben dirigirse, en base a criterios científicos, hacia el correcto diseño y aplicación de ejercicios físicos adecuados y adaptados a la patología. De este modo, pueden quedar definidas cuatro fases de intervención orientadas a la reeducación y readaptación físico-deportiva y mejora de las prestaciones de los gestos deportivos en el entrenamiento y la competición:

- Fase de ***aproximación*** al gesto deportivo.
- Fase de ***orientación*** al gesto deportivo.
- Fase de ***preoptimización*** del gesto deportivo.
- Fase de ***optimización*** del gesto deportivo

En la tabla I.4 se muestra la adecuación de cada período o fase con respecto a al ámbito de actuación y el carácter o tipo de ejercicios que se pueden diseñar en cada una de ellas.



<b>Tabla I.4. Fases, ámbito de actuación y carácter del ejercicio físico durante la RFD</b>		
<b>Fase de readaptación</b>	<b>Ámbito de actuación</b>	<b>Tipo de ejercicio</b>
Fase de aproximación	+++RFuD + RFD	General
Fase de orientación	++ RFuD ++ RFD	General-especial
Fase de preoptimización	+++ RFD+ RFuD	Especial-específico
Fase de optimización	+++ RFD	Específico
Nivel de predominio de un ámbito sobre el otro (escala 1-3; +-+++). RF, recuperación funcional. RFD, readaptación físico-deportiva.		

Estas fases deben configurarse dentro de la elaboración de un programa de readaptación físico-deportiva teniendo en cuenta sus componentes y elementos de diseño y aplicación y la intervención coordinada y supervisada de las actuaciones del equipo multidisciplinar.

### **1.8. Consideraciones finales**

Se constata la necesidad de capacitar a nuevos profesionales relacionados con la readaptación de las lesiones deportivas. Asimismo, es necesario que los centros universitarios, clubes, centros deportivos y terapéuticos y dirigentes tomen conciencia del papel importante que estos profesionales podrían aportar en relación con la prevención, intervención, asesoramiento, educación en hábitos deportivos saludables, organización y realización especializada de los programas de reentrenamiento y control y seguimiento de la evolución de las lesiones deportivas dentro del equipo médico-terapéutico y técnico para la incorporación, lo antes posible, del jugador al entrenamiento y a la competición. La aplicación del programa de entrenamiento tiene que tener en cuenta una serie de componentes y elementos de prescripción de ejercicio físico. El diseño de ejercicios de readaptación debe ser adecuado, planteándose su utilización bajo criterios de seguridad, carga, funcionalidad, velocidad de movimiento y temporalidad en relación con la situación patológica del deportista y las condiciones de competición. Éstas y otras cuestiones deben ser desarrolladas de manera especializada con el fin de definir un ámbito de actuación funcional en el contexto profesional. Finalmente, debemos estimular el pensamiento y la práctica científica puesto que se observa la falta de investigaciones controladas en el ámbito de la readaptación física de las lesiones deportivas.

### Para citar este artículo:

Lalín, C. (2008). La readaptación lesional (I parte): fundamentación y contextualización. *RED: Revista de entrenamiento deportivo*, Tomo XXII, N.2: 27-35.

Lalín, C. (2008). La readaptación lesional (II parte): reentrenamiento físico deportivo del deportista lesionado. *RED: Revista de entrenamiento deportivo*, Tomo XXII, N. 3: 29-37.

### 1.9 Bibliografía

- AGEBERG, E.; ROBERTS, D.; HOLMSTRÖM, E. & FRIDÉN, T. (2005). Balance in single-limb stance in patients with anterior cruciate ligament injury. Relation to knee laxity, proprioception, muscle strength, and subjective function. *American Journal of Sports Medicine*, Vol. 33, N.º 10: 1527-1535.

- AGLIETTI, P.; ZACCHEROTTI, G.; DE BIASE, P.; LATELLA, F. & SERNI, G. (1999). Lesiones en el fútbol: mecanismos y epidemiología. En: P.A.F.H. Reiström, Prácticas clínicas sobre asistencia y prevención de lesiones deportivas (315-323). Barcelona: Ed. Paidotribo.

- ÁLVAREZ DEL PALACIO, A. & VILLA VICENTE, G. (1996). El ejercicio corporal como forma de mantenimiento físico y conservación de la salud: una perspectiva histórica. *Archivos de Medicina del Deporte*, 51 : 37-45.

- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (1999). Manual para la valoración y la prescripción del ejercicio. Barcelona: Ed. Paidotribo.

- ANDERSON, K & BEHM, D.G (2005). The impact of instability Resistance Training on Balance and Stability. *Sports Medicine*, Vol, 35, nº 1: 43-53.

- ARHEIM, D.D (1995). Fundamentos en patología deportiva. Mosby/Doyma libros. Madrid.

- ARROYO, M; GUISSADO, R; GARCÍA, MC DÍAZ, L (2004). Influencia de los desequilibrios musculares de la pelvis sobre la pubalgia en los deportistas. *Cuestiones de fisioterapia*, Vol 25: 57-66.

- ASHTON-MILLER, J.A; WOJTYS, E.M; HUSTON. L.J & FRY-WECH, D (2001). Can proprioception really be improved by exercises?. *Knee Surgery, Sports Tarumatology, Arthroscopy*, nº 9: 128-136.

- AZNAR, S. (2002). Recomendaciones generales para la realización de ejercicio físico saludable. En: *Actas del II Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte* (369-374). Madrid: INEF. Universidad Politécnica de Madrid.

- BIDDLE, S. (1995). Exercise and psychosocial health. *Research Quarterly for*

*Exercise and Sport*, Vol. 66, Nº.4 : 292-297.

- BISHOP, D (2003). Warm up I: Potencial Mechanisms and the effects on passive Warm up on Exercise Performance. *Sports Medicine*, Vol 33, nº 6: 439-454.

- BOUCHARD, C. & SHEPHARD, R. J. (1994). Physical activity, fitness, and health: the model and key concepts. EN C. Bouchard, R. Shephard, & T. Stephens (eds) *Physical activity, fitness, and health: International proceedings and consensus statement* (pp. 77-88). Champaign, Illinois: Human Kinetics Books.

- BOUCHARD, C.; SHEPHARD, R.J. & STEPHENS, T. (1994). Physical activity, fitness, and health. *International Proceedings and Consensus Statement*. Champaign, Illinois : Human Kinetics Books: 1-1050.

- BRICKER BONE, J & FRY, M.D (2006), The Influence of Injured Athletes' Perceptions of Social Support From ATCs on Their Beliefs About Rehabilitation. *Journal Sport rehabilitation*, vol 15; 156-167.

- BUCETA, J.M. (1996). *Psicología y lesiones deportivas: prevención y recuperación*. Madrid: Edit. Dykinson.

- BUCETA, J.M. (1998). *Psicología del entrenamiento deportivo*. Madrid: Ed. Dykinson.

- CASAIS, L (2008). Revisión de las estrategias para la prevención de las lesiones en el deporte desde la actividad física. *Apunt. Medicina de l'Esport*, Vol 157:30-40.

- COMMANDRE, F.A; FOURRE, J.M; DAVAREND, J.P; RAYBAUD, A & FORNARIS, E (1996). Reeducation et rehabilitation des lesions de L'appareil Locomoteur de l'athlete. *Cinésiologie*, XXXV, 165: 6-23.

- COS, M. A. & COS, A. (1999). Medidas fisioterápicas de recuperación del deportista tras el esfuerzo físico. *Revista de entrenamiento deportivo*. Vol VI, nº 3:3-10.

- DE ANDRES, B. & AZNAR, P. (1996). Actividad física, deporte y salud: factores motivacionales y axiológicos. *Apunts: Educación Física i Esports*, 46 : 12-18.

- DELGADO RODRÍGUEZ, M.; MARTÍNEZ GONZALEZ, M. A. & AGUINAGA ONTOSO, I. (2001). Actividad física y salud. EN G. Piédrola Gil, *Medicina preventiva y salud pública* (Cap.77: 935-944). Barcelona: Ed. Masson, 10.<sup>a</sup> ed.

- DEVÍS DEVÍS, J. & PEIRÓ VELERT, C. (1992). Ejercicio físico y salud en el currículo de educación física: Modelos e implicaciones para la enseñanza. EN J. Devís Devís & C. Peiró Velert, *Nuevas perspectivas curriculares en educación física: la salud y los juegos modificados* (Cap. 1: 27-45). Barcelona: Ed. INDE.

- DURÁ, J.V; ALCÁNTARA, E; PÉREZ, P; GÁMEZ, J & MARTÍNEZ, A (2003). Análisis del césped artificial para fútbol: aspectos biomecánicos y su relación con la epidemiología. *Selección*, Vol 12, nº 2; 57-63.
- EINSINGBACH, T.; KLÜMPLER, A. & BIEDERMANN, L. (1994). Fisioterapia y rehabilitación en el deporte. Barcelona: Ediciones Scriba.
- EKSTRAND, J. (1999). Lesiones en el fútbol: prevención. En: P.A.F.H. Reström, Prácticas clínicas sobre asistencia y prevención de lesiones deportivas (324-333). Barcelona: Ed. Paidotribo.
- EKSTRAND, J; TIMPKA, T & HÄGGLUND, M (2006). Risk of injuries in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study (2006). *British Journal of Sports Medicine*, Vol 40: 975-980.
- ESPARZA BARROSO, E. (1994). Lesiones y recuperación funcional del deportista. Regreso a la actividad deportiva: reentrenamiento al esfuerzo. *3ª Jornadas sobre Medicina Deportiva*. Junta de Andalucía.
- FRADKIN, J.A; GABBED, B.J & CAMERON, P.A (2006). Does warming-up prevent injury in sport?: the evidence from randomised controlled trials. *Journal Science Medicine in Sport*, Vol 9:214-220.
- FULLER, C.W; BAHR, R; DICK, R.W & MEEUWISSE, W.H (2007). A framework for Recording Recurrences, reinjuries, and Exacerbations in Injury Surveillance. *Clinic Journal of Sport Medicine*, Vol 17; nº 3: 197-200.
- FULLER, C.W; DICK, R.W; CORLETTE, J & SCHMALZ, R (2007). Comparison of incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 2; training injuries. *British Journal of Sports Medicine*, Vol 41 (suppl): i27-i32
- FULLER, C.W; MOLLOY, M.G; BAGATE, C; BAHR, R; BROOKS, J.H.M.; DONSON, H; KEMP, S.P.T; McCRORY, P; McINTOSH, A.S; MEEUWISSE, W.H; QUARRIE, K.L; RAFTERY, M & WILEY, P (2007). Consensus Statement on Injury Definition and data Collection Procedures for Studies of Injuries in Rugby Union. *Clinic Journal of Sport Medicine*, Vol 17; nº 3: 177-181.
- GAL, C (2001). La pubalgia: prevención y tratamiento. Edit. Paidotribo. Barcelona.
- GONZÁLEZ GONZÁLEZ, J.C & PAYÁN MARTÍN L (2001). Lesiones relacionadas con la superficie de juego en el fútbol. *Selección*, Vol, 10, nº 1: 52-57.
- GUILLÉN GARCÍA, P. (1996). Accidente deportivo. En: Lesiones deportivas. Fundación Mapfre.
- HAWKINS, R; HULSE, M; HODSON, A. (2001). An audit of injuries in

Professional Football. The Football Association.

- HEREDIA, J.R; COSTA, M.R & ABRIL, M.M (2007). Bases para la observación, el control y la corrección de ejercicios de musculación. En ISIDRO, F; HEREDIA, J.R; PINSACH, P & COSTA, M.R. Manual del entrenador personal. Badalona. Paidotribo.

- HODGSON, L; GISSANE, C; GABBETT, T.J & KING, D.A (2007). For Debate: Consensus injury Definition in Team Sports Should Focus on Encompassing all Injuries. *Clinic Journal of Sport Medicine*, Vol 17; nº3: 188-191.

- HUGHES, G & WATKINS, J (2006). A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sport Medicine*, vol 36, Nº 5: 411-428.

- JUNGE, A & DVORAK, J (2000). Influence of Definition and data Collection on the Incidence of Injuries in Football. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 28, nº 5: S40-S46.

- JUNGE, A & DVORAK, J (2004). Soccer Injuries: a review on incidence and prevention. *Sports Medicine*, Vol 34, nº 13: 929-938.

- JUNGE, A; RÖSCH, D; PETERSON, L; GRAF-BAUMAN, T & DVORAK, J (2002). Prevention of Soccer Injuries: A Prospective Intervention Study in Youth amateur Players. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol, 30, nº 5: 652-659.

- KNIGHT, C.A, RUTLEDGE, C.R; COX, ME, ACOSTA, M & HALL, SJ (2001). Effect of superficial heat, deep heat, and active exercise warm up on the extensibility of the plantar flexors. *Physical Therapy*; Vol 81:1206-1214.

- LEPHART, S. (2001). Reestablecimiento de la propiocepción, la cinestesia, el sentido de la posición de las articulaciones y el control neuromuscular en la rehabilitación (Cap 9, pp. 138-158). En: W. E. Prentice, Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva. Barcelona: Ed. Paidotribo.

- LEPHART, S.M; PINCEVERO, D.M & ROZZI, S (1998). Proprioception of the ankle and Knee. *Sports Medicine*, Vol 25, nº 3: 149-155.

- LEQUESNE, M (2004). Sport practice and osteoarthritis of the limbs. *Science & Sport*, Nº 19: 281-285.

- LORZA BLASCO, G. (1998). La reeducación propioceptiva en la prevención y tratamiento de las lesiones en el baloncesto. *Archivos de Medicina del Deporte*, Vol 15, nº 68: 517-521.

- LLORET. M. (1990). 1020 ejercicios y actividades de readaptación motriz. Madrid: Ed. Paidotribo.

- MARTÍN ACERO, R. (1994). Problemas epistemológicos actuales en el análisis de las estructuras en actividad física y deporte. A Coruña: no publicado.
- MASCARÓ VILELLA, A. (1999). Aportaciones de la propiocepción a las inestabilidades articulares de las extremidades en el medio deportivo. *Archivos de Medicina del Deporte*, Vol 16, nº 74: 621-626.
- MCGILL, S.M (2001). Low Back Stability: From Formal Description to Issues for Permance and Rehabilitation. *Exercise and Sports Science Reviews*, Vol 29, nº 1: 26-31.
- MEANA RIERA, M (2008). Prevención de las lesiones deportivas. En Izquierdo, M. *Biomecánica y bases neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte*. Madrid. Panamericana.
- MEEUWISSE, W.H & LOVE, E.J (1997). Athletic Injury Reporting: Development of Universal Systems. *Sports Medicine*, Vol 24, nº 3: 184-204.
- MEEUWISSE, W.H; TYREMAN, H; HAGEL, B; EMERY, C (2007). A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. *Clinic Journal of sport Medicine*, vol 17: 215-219.
- MULA PÉREZ, F.J. (1996). La rehabilitación del deportista: orientación hacia la reeducación funcional. *2ª Jornadas sobre prevención y la recuperación precoz de la lesión deportiva*. Nº 412. Junta de Andalucía.
- MURPHY, D.F; CONNOLLY, D.A.J & BEYNNON, B.D (2003). Risk factors for Lower extremity: a review of the literature. *Bristish Jorunal of Sports Medicine*, Vol 37: 13-29
- OLSEN, O; MYKLEBUST, G; ENGBRETSSEN, L; HOLME, I & BAHR, R (2005). Exercise to prevent lower limb injuries in youth sports:cluster randomised controlled trial. *British Journal of Sport Medicine*, Vol, 33: 371-378.
- ORCHARD, J & HOSKING, W (2007). For Debate: Consensus Injury Definition in Team Sports Should Focus in Missed Playing Time. *Clinic Journal of Sport Medicine*, Vol 17; nº 3: 192-196.
- .OCHARD, J.W; CHIVERS, I; ALDOUS, D; BENNELL, K & SEWARD, H (2005). Rye grass is associated with fewer non-contact anterior cruciate ligament injuries than Bermuda grass. *Bristish Jorunal of Sports Medicine*, Vol 39: 704-709.
- ORCHARD, J (2002). Is there a Relationship Between Ground and Climatic Conditions and Injuries in Football?. *Sports Medicine*, Vol 32, n7: 419-432.
- PARKKARI, J; KUJALA, U.M & KANNUS, p (2001). Is it Possible to Prevent Sport Injuries?: review of Controlled Clinical Trials and Recommendations for Future Work.

Sports Medicine, Vol 31, nº 14: 985-995.

- PATE, R. (1995). Physical activity and health: Dose-response issues. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 66, N.º 4: 313-317.

- PETERSEN, J; HÖLMICH, P (2005). Evidence based of hamstring injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, Vol 39: 319-323.

- PFEIFFER, R.P. & MAGNUS, B.C. (2001). Las lesiones deportivas. Barcelona: Ed. Paidotribo.

- PRENTICE, W. E. (2001). Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva. Barcelona: Ed. Paidotribo.

- QUANTE, M. & HILLE, E. (2000). Propiocepción: un análisis crítico de su importancia en la medicina del deporte. *Archivos de Medicina del Deporte*, vol 17, nº 79: 441-443.

- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, L.P & GUSI FUERTES, N (2002). Manual de prevención y rehabilitación de lesiones deportivas. Edit. Síntesis. Madrid.

- RODRÍGUEZ, F. A. (1995a). Prescripción del ejercicio físico para la salud (I). Resistencia cardiorrespiratoria. *Apunts: Educación Física i Esports*, 39: 87-102.

- RODRÍGUEZ, F. A. (1995b). Prescripción de ejercicio para la salud (II). Pérdida de peso y condición musculoesquelética. *APUNTS: Educación Física i Esports*, 40: 83-92.

- SAN ROMÁN C.Z (2003). Causas de las Bajas a entrenamientos y Competiciones profesionales de los futbolistas profesionales con unas cargas determinadas de trabajo. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura.

- SÁNCHEZ BAÑUELOS, F. (1996). La actividad física orientada hacia la salud. Madrid: Biblioteca Nueva.

- SANTONJA MEDINA, F.; FEERER LÓPEZ, V.; RASINES PARDO, J.; PASTOR CLEMENTE, A.; GARCÉS MARTÍN, G. & MESEGUER OLMO, L. (1996). Epidemiología de las lesiones deportivas. (Cap 4: 25-63). *Lesiones deportivas*. Fundación Mapfre.

- SAXON, L; FINCH, C & BASS, S (1999). Sport participation, sport injuries and osteoarthritis. *Sport Medicine*, vol 28, Nº 2: 123-135.

- SEIRUL-LO, F. (1986). Entrenamiento coadyuvante. *APUNTS: Educación Física i Esports*, vol 23: 39-41.

- SHEPHARD, R. J. (1995,a). Physical activity , fitness, and health: The current

consensus. *Quest*, 47 (3): 288-303.

- SHEPHARD, R. J. (1995,b). Physical activity, health, and well-being at different life stages. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 66, N.º 4: 298-302.

- SHRIER, I (2007). Understanding Causal Inference: The future Direction in Sports injury Prevention. *Clinic Journal of Sport Medicine*, Vol 17; nº 3: 220-224.

- SILLA, D. (1989). Reinserción del deportista al terreno de juego tras una lesión ligamentosa. *Revista de entrenamiento deportivo*, Vol 3, nº 4: 27-30.

- SOAGE, S. (1998). Fisioterapia en las lesiones óseas y articulares. Actualizaciones en fisioterapia del deporte. Ed. UDC.

- STEFFEN, J.N & TIMOTHY F.T (2002). Adductor muscle Strains in Sport. *Sport Medicine*, Vol 32, nº 5: 339-344.

- STEFFEN, K; ANDERSEN, T.H y BAHR, R (2007). Risk of injuries on artificial turf and natural grass in young female football players. *British Journal of Sports Medicine*, Vol 41 (suppl): i33-i37.

- TARRAGÓ COSTA, J.R.; COS MORERA, F.; GORDILLO MOLINA, A.; LIZÁRRAGA, M.A. & MARTÍN URRIALDE, J.A. (2004). Readaptación física de la lesión musculotendinosa (Cap 14: 83-90). En : R.Balius Matas, Patología muscular en el deporte: diagnóstico, tratamiento y recuperación funcional. Barcelona: Ed. Masson.

- TERCEDOR, P. (1995). Higiene postural. Educación de la postura y prevención de las anomalías en el contexto escolar. *Habilidad Motriz*, 6: 44-49.

- TERCEDOR, P. (2001). *Actividad física, condición física y salud*. Sevilla : Wanceulen.

- THACKER SB; GILCHRIST, J; STROUP, D.P & KIMSEY C.D (2004). The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Medicine and Science in Sports and exercise*, Vol 36: 371-378.

- THACKER, S.B; STROUP, D.F; BRANCHE, C.M; GILCHRIST, J; GOODMAN, R.A & PORTER KELLING, E (2003). Prevention of Knee injuries in sports: A systematic review of the literature. *Journal Sports Medicine Physical Fitness*, Vol 43, nº 2: 165-179.

- U. S. SURGEON GENERAL (1996). Physical Activity and Health: a report of the Surgeon General.U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion. Washington DC: U.S. Government Printing Office.



- VAN MECHELEN, M (1997). Sport injury surveillance systems. "One size fits all?". *Sport Medicine*, vol 24, N° 3: 164-168.
- VAN MECHELEN, W (1997). Sports Injury Surveillance Systems: One Size Fit All?. *Sports Medicine*, Vol 24, n° 3: 164-168.
- VAN MECHELEN, W; Hlobil, H & KEMPER, H (1992). Incidence, severity, etiology and prevention of sports injuries. *Sports Medicine*, Vol 14: 14-82.
- WITVROUW, E; MAHIEU, N; DANNEELS, L & McNAIR, P (2004). Stretching and Injury Prevention: An obscure relationship. *Sports Medicine*, Vol 34, n° 7: 443-449.
- WITVROUW, E; MAHIEU, N; ROOSEN, P & McNAIR (2007). The role of stretching in tendon injuries. *British Journal of Sports Medicine*, Vol 41: 224-226.
- WONG, P & HONG, Y (2005). Soccer injury in the lower extremities. *British Journal of Sport Medicine*, vol 39: 473-482.
- WOODS, C; HAWKINS, R; HULSE, M; HODSON, A (2002). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football - analysis of preseason injuries. *British Journal of Sport Medicine*, vol 36:0-5.
- WRIGHT, R.W; DUNN, W.R; AMENDOLA, A; ANDRISH, J.T; BERGFELD, J; KAEDING, C.C; MARX, R.G; McCARTY, E.C; PARKER, R.D; WOLCOTT, M; WOLF, B.R; SPINDER, K.P (2007). Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sport medicine*, vol 35, N° 7: 1131-1134.
- ZAZULAK, B.T; HEWETT, T.E; REEVES, P; GOLBERG, B & CHOLEWICKI, J (2007). Deficits in Neuromuscular Control of the Trunk Predict Knee Injury Risk. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 35, n° 7: 1123-1130.
- ZAZULAK, B.T; HEWETT, T.E; REEVES, P; GOLBERG, B & CHOLEWICKI, J (2007). The Effects of Core Proprioception on Knee Injury. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 35, n° 3: 368-373.
- WITVROUW, E.; LYSSENS, R.; BELLEMANS, J.; PEERS, K.; VANDERSTRAETEN, G. (2000). Open versus close kinetic chain. Exercise for patellofemoral pain: a prospective, randomized study. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol 28, n° 5: 687-694.

## PREVENCIÓN DE LESIONES (Daniel Romero)

### Prevención específica de la rodilla.

Dentro de los trabajos que tratan sobre lesiones en el deporte, son numerosos los que se centran en la articulación de la rodilla, especialmente en las afecciones del LCA. Con relación a la prevención de lesiones ligamentosas, existen diversos trabajos que hablan del rol que la musculatura tiene en la estabilidad articular.

#### 1.- El trabajo isquiotibial como estabilizador de la rodilla.

El aumento de fuerza de los músculos isquiotibiales y el trabajo de la condición física en un aspecto más amplio puede contrarrestar la activación existente del cuádriceps durante la extensión de rodilla en sus últimos grados y durante su hiperextensión (White et al, 2003). Estos autores comentan que los programas de ejercicios con la intención de equilibrar este efecto pueden reducir el riesgo de lesión de atletas femeninas jóvenes al aumentar lo que ellos llaman rigidez articular dinámica y reduciendo así la tensión en el LCA.

En este trabajo, White et al (2003) hablan sobre los estabilizadores activos, y resaltan la importancia de los isquiotibiales, tal y como ya hemos comentado. Sabemos que el LCA es el principal limitador del deslizamiento anterior de la tibia, y los isquiotibiales actúan sinérgicamente en la extensión de rodilla controlando dicho desplazamiento, sobre todo al final de la extensión. Esta coactivación en los últimos grados de extensión protege la articulación aumentando su rigidez, oponiéndose a la tendencia cuadrípital a desplazar anteriormente la tibia. Estos autores comentan el trabajo de Wojtys et al (1996), quienes encontraron que la fatiga muscular provocaba un aumento del 32.5% de desplazamiento anterior tibial.

Además, se ha documentado que las mujeres atletas tienen una respuesta más lenta de la musculatura isquiotibial ante el estrés del LCA. White et al (2003) explican que no se ha estudiado la diferencia de sexo en relación con el control neuromuscular de la rodilla durante un ejercicio dinámico, por lo que estos autores tratan de ver dichos factores en un ejercicio fatigante que puede predisponer a deportistas mujeres a tener una lesión del LCA. Esto lo realizan en 25 jóvenes jugadoras de fútbol o baloncesto. El control electromiográfico de superficie (EMGS) lo realizan en el bíceps femoral (BF) y el vasto medial (VM). Después de registrar la CVM descansan 5 minutos y a continuación realizan extensiones y flexiones dinámicas de rodilla de forma aleatoria. Para cada ejercicio (flexión y extensión) realizaron tres series consecutivas de dos minutos a una intensidad del 40% de la CVM. Las repeticiones estaban comprendidas entre los 0 y los 110° de flexión de rodilla.

De los resultados obtenidos, White et al (2003) explican que la coactivación de los isquiotibiales en atletas que no acostumbran a trabajar dichos músculos es bastante menor en comparación a los que sí los trabajan habitualmente. Así, el entrenamiento de isquiotibiales ha sido propuesto como entrenamiento conservador en las lesiones del LCA.

Hewett et al (1999) demostraron que el entrenamiento pliométrico para mejorar el control neuromuscular de la rodilla reduce la incidencia de las lesiones importantes de dicha articulación, incluyendo las del LCA, sugiriendo así que las diferencias de sexo en el control neuromuscular de la rodilla pueden corregirse con un programa preventivo. Esto puede llevar a que el trabajo de la musculatura isquiotibial provoque una variación del patrón de reclutamiento, disminuyendo la fatiga y aumentando la rigidez articular dinámica. Los resultados de estos autores llevan a pensar que el trabajo isquiotibial puede ser también necesario para contrarrestar el efecto de la mayor coactivación cuadriceps vista en mujeres. Esta idea se centra en tener una menor activación cuadriceps para evitar una tensión exagerada que lleve al deslizamiento anterior tibial.

A pesar de que la tendencia general considera la activación cuadriceps como negativa en relación con la integridad del LCA, Bodor (2001) hace un razonamiento biomecánico que explica que el cuadriceps tiene un rol protector del LCA en las actividades en cadena cerrada.

## 2.- El trabajo del control neuromuscular.

Hewett et al (1999) comentan diferentes artículos sobre la mayor incidencia de lesión del LCA en mujeres en comparación con hombres deportistas. Chandy y Grana (1985) explican la importancia de enfatizar en la evaluación funcional y el acondicionamiento de cuadriceps e isquiotibiales para prevenir este tipo de lesiones. Además, parece ser que los programas de entrenamiento mediante saltos que incorporan estiramientos, ejercicios pliométricos y trabajo de musculación aumentan el rendimiento y disminuyen el riesgo de lesión en atletas que realizan deportes donde se involucran saltos.

Hewett et al (1999) explican que el entrenamiento de la musculatura que estabiliza la rodilla antes de la competición puede disminuir la incidencia de lesiones en mujeres deportistas. Caraffa et al (1996) han visto en futbolistas hombres semiprofesionales que el entrenamiento propioceptivo disminuía el número de lesiones del LCA. Después de un entrenamiento propioceptivo progresivo dividido en cinco fases, vieron una disminución muy importante de la incidencia lesional. Es de esperar que este tipo de entrenamiento tenga un efecto similar en mujeres futbolistas.

El trabajo de Hewett et al (1996) mostró un desequilibrio de fuerza entre los isquiotibiales y el cuadriceps de mujeres atletas antes de entrenar. Además, en la recepción del salto, los hombres tenían mayores momentos flexores de rodilla que las mujeres. El entrenamiento de fuerza, estiramientos y de ejercicios pliométricos demostró una disminución de estos momentos al disminuir los momentos de abducción-aducción en la recepción. Con sus resultados, los autores hipotetizaron que este programa podía disminuir la incidencia lesional en mujeres deportistas. Con esta intención está realizado el estudio de Hewett et al (1999), donde trabajan con 43 equipos de institutos de deportes como fútbol, baloncesto y voleibol. El total de deportistas seguidos durante un año fue de 1263. Con esta muestra diseñan un entrenamiento de pretemporada durante seis semanas. Este programa, descrito en Hewett et al (1996), incorpora ejercicios de flexibilidad, pliometría y entrenamiento con pesas para aumentar la fuerza muscular y disminuir las fuerzas provocadas en la recepción. En el grupo de entrenamiento, 336 mujeres atletas fueron entrenadas en las técnicas de salto y recepción diseñadas para aumentar la altura vertical y la fuerza antes de la participación en un deporte. Cada sesión duraba aproximadamente entre 60 y 90 minutos, y la frecuencia era de tres por semana en días alternativos. El entrenamiento tenía un aumento progresivo de duración. Los ejercicios de saltos eran realizados después de los estiramientos, y por último se desarrollaban los ejercicios de musculación, después de 15 minutos de recuperación y un régimen de estiramientos más reducido.

En este trabajo de Hewett et al (1999), donde utilizan un grupo control de hombres deportistas, pudieron ver que el grupo de mujeres no entrenadas tuvieron una incidencia lesional bastante más elevada que este grupo control. Por el contrario, el grupo de mujeres entrenadas no tuvieron diferencias con el grupo control. Los datos para el grupo no entrenado fueron de una incidencia de lesión de 3.6 veces mayor que el grupo entrenado y de 4.8 veces el grupo control.

Según los autores (Hewett et al, 1999), éste fue el primer estudio prospectivo que recogió los efectos de un entrenamiento neuromuscular en las lesiones de rodilla en mujeres atletas que participan en deportes considerados de elevado riesgo de lesión. Los resultados indican que este tipo de entrenamiento disminuye el riesgo de lesión en esta población, y esta disminución puede ser debida al aumento de estabilidad dinámica de la rodilla por las adaptaciones creadas por el entrenamiento.

Hewett et al (1999) aluden a su estudio anterior (Hewett et al, 1996), donde 10 de las 11 mujeres deportistas estudiadas disminuyeron su pico de fuerza en la recepción del salto. Esta disminución es importante debido a que provocará la disminución de las fuerzas que se provocan a nivel articular. Explican que el elevado porcentaje de lesiones que se producen en la recepción (aproximadamente el 60% del total de

lesiones) y la gran concentración de lesiones en la extremidad inferior en deportes donde existe gran multitud de saltos, sugiere que existe una relación entre las fuerzas de la recepción y las lesiones de la extremidad inferior. El trabajo de Hewett et al (1999) mostró una disminución de las fuerzas de varo – valgo en la recepción del salto, lo que estaba ligado a la disminución de las fuerzas existentes en la rodilla. Es posible que esta disminución de fuerzas en la articulación fuera debida al aumento del rol estabilizador de isquiotibiales y gastrocnemios en el plano frontal.

El estudio de Huston y Wojtys (1996) demostró diferencias en los patrones de reclutamiento muscular entre atletas de élite hombres y mujeres. En un elevado porcentaje de pruebas, las mujeres contraían su cuádriceps ante una traslación tibial anterior, mientras los hombres respondían a dicha traslación mediante la contracción de los isquiotibiales. Los isquiotibiales son antagonistas del desplazamiento anterior tibial, mientras el cuádriceps, en pequeños grados de flexión, aumenta la tensión del LCA. Además, estos autores mostraron que las mujeres atletas tenían mayor laxitud anterior de rodilla y menor fuerza que los hombres.

En los trabajos de Hewett et al (1996) y de Huston y Wojtys (1996), las deportistas tenían un marcado desequilibrio entre la fuerza muscular cuádriceps – isquiotibiales antes del entrenamiento. El entrenamiento utilizado en Hewett et al (1999) corrige este desequilibrio y lleva la proporción de fuerza isocinética isquiotibiales – cuádriceps en las atletas al mismo nivel que los atletas.

Baratta et al (1988) comentan el elevado riesgo de lesión ligamentosa en atletas con un desequilibrio de fuerza cuádriceps – isquiotibiales y una reducción del patrón de coactivación isquiotibiales – cuádriceps. Estos autores observaron un aumento de la coactivación de los isquiotibiales en atletas con un desequilibrio de fuerza cuádriceps – isquiotibiales después de un entrenamiento con ejercicios de fuerza de isquiotibiales.

Aún las críticas recibidas en este trabajo de Hewett et al (1999) sobre el tratamiento estadístico que dichos autores dieron a sus resultados, es interesante tener en cuenta todo el estudio que realizaron y las recomendaciones sobre prevención que ofrecen. Así, según este grupo de trabajo sería beneficioso que las deportistas que participan en deportes donde se involucren saltos, pivotajes y cambios de dirección, sean entrenadas antes de la competición con un programa de entrenamiento de saltos que incluya ejercicios de entrenamiento progresivo de fuerza.

Fagenbaum et al (2003) realizan un trabajo con jugadores universitarios de baloncesto de ambos sexos, donde intentan ver si las mujeres muestran menor activación isquiotibial y menor flexión de rodilla que los hombres durante recepciones de diferentes tipos de salto. Antes y después de estas tareas los individuos realizaban

un trabajo fatigante isocinético de flexores y extensores de rodilla. Recogían la actividad electromiográfica de vasto medial, vasto lateral, isquiotibial medial y lateral y gastrocnemio.

Estos autores no llegaron a provocar en todos los sujetos los niveles de fatiga que en principio deseaban. El hecho de que las mujeres hicieran la recepción con mayor flexión de rodillas, resultado en principio contradictorio al esperado, elimina la posibilidad de que la mayor incidencia lesional del LCA en mujeres se produzca por una recepción con mayor extensión de rodillas, al menos en deportistas experimentadas. Además destaca el hecho de que las mujeres tenían valores similares de actividad isquiotibial que los hombres, segundo parámetro protector de lesión del ligamento citado. De todas maneras estos autores comentan que es posible que las lesiones de LCA en mujeres se produzcan justo al inicio del contacto en la recepción cuando la atleta intenta cambiar rápidamente la dirección o cuando intenta saltar de nuevo. Para argumentar esto comentan algún trabajo donde se ha visto que algunas acciones son realizadas de forma desfavorable en mujeres deportistas amateurs en comparación con mujeres de mayor nivel deportivo y en hombres deportistas. Con relación a esto podemos citar los trabajos de Hewett et al (1996) y de Huston y Wojtys (1996).

A parte de los resultados contradictorios encontrados por Fagenbaum et al (2003), es interesante destacar el comentario que los autores realizan ante la menor aceleración de flexión de rodilla cuando se encontraban fatigados. En principio, la fatiga cuadricepsal podría provocar un aumento del parámetro citado ante la imposibilidad de este músculo de aguantar el momento flexor generado. Los autores explican que el músculo fatigado conserva una buena capacidad para resistir la imposición de un estiramiento, lo que puede ser un buen medio para prevenir una caída importante en carga con las rodillas muy flexionadas, y esto podría deberse al componente elástico muscular.

La revisión realizada por Olsen et al (2004) trata sobre la prevención de lesiones en fútbol. Comentan los trabajos de Ekstrand y Gillquist (1984, en Olsen et al, 2004) y de Caraffa et al (1996), pero además explican también el estudio de Lehnhard et al (1996), donde se estudia durante cuatro años la influencia de un entrenamiento de fuerza en la incidencia de lesiones en futbolistas varones universitarios, aunque el diseño del estudio es criticado al no tener un grupo control. En esta revisión de Olsen et al (2004) se explica que el estudio de Ekstrand y Gillquist (1984) proporciona evidencia de la necesidad de afrontar un programa de prevención desde un análisis y tratamiento multifactorial, pero este estudio tampoco permite por sí solo sacar conclusiones de las mejores estrategias de prevención si se quiere aplicar a una población joven, tal y como pretenden hacer Olsen et al (2004). De hecho, tal y como

explica Larson et al (1996, en Olsen et al, 2004), la prevención de lesiones en jóvenes futbolistas ha sido prácticamente ignorada. De los estudios que revisan, puede decirse que tan sólo el de Anderson et al (2000) contemplaba deportistas por debajo de los 17 años. Diallo et al (2001) realizan un estudio sobre trabajo pliométrico en jugadores de fútbol de 12-13 años, pero está más basado en la adaptación y desadaptación provocada por este tipo de ejercicios que en la prevención de lesiones.

El trabajo de Olsen et al (2004) puntualiza algunas líneas interesantes de futuro, de las que destacan la necesidad de enfatizar en los programas de prevención basados en el trabajo propioceptivo y en el entrenamiento de la fuerza muscular, y cómo estos programas pueden aplicarse en deportistas jóvenes. Además, comentan la necesidad de realizar programas con estrategias multifactoriales, y hablan de calentamiento, enfriamiento, estiramientos y entrenamiento de fuerza en jóvenes.

## Prevención específica en el tobillo.

Otra de las articulaciones más estudiadas con relación a la patología deportiva es el tobillo. Al igual que en la rodilla, las lesiones más habituales se centra a nivel ligamentoso, especialmente en el complejo ligamentoso externo, tal y como ya hemos apuntado al hablar de mecanismos lesionales, y concretamente los ligamentos más afectados son el peroneo astragalino anterior y el peroneo calcáneo.

### 1.- El peligro de las recidivas en el tobillo.

Woods et al (2003) explican que las lesiones en el tobillo se producen habitualmente en deportistas que ya han tenido una lesión en un porcentaje que varía entre el 56%, el 69% y el 75% según los diferentes trabajos que comentan en jugadores de fútbol. Es importante tener en cuenta que la gran existencia de recidivas puede tener una explicación directa con el tiempo necesario para que la curación de un ligamento sea completa, pero no existe un gran entendimiento al respecto.

Parece ser que las cifras varían entre las 16 semanas hasta las 40-50 semanas para conseguir el 85-90% de capacidad normal de tensión, hecho que permite ver que los jugadores vuelven a la competición sin tener ni mucho menos completado el proceso de curación biológica. Es cierto que la aplicación de estrés en la fase de maduración del colágeno ayuda a éste a adoptar la disposición estructuralmente correcta para resistir sobre todo las cargas en tracción (figura 7), pero hemos de tener en cuenta que para realizar esto se ha de planificar de manera correcta y se han de diseñar los ejercicios adecuados en la progresión también idónea.

Esto nos hace ver la necesidad de continuar el tratamiento durante todo el proceso de maduración y remodelación del ligamento cuando el jugador ya está compitiendo, es decir, la necesidad de realizar una prevención específica a la lesión sufrida para evitar al máximo la aparición de una recidiva. Según Drawer y Fuller (2002), la probabilidad de una recidiva puede ser reducida evaluando los niveles de condición física y fitness durante el tratamiento de un jugador.

Existe además otro dato muy importante a tener en cuenta en relación con las recidivas. Tal y como también explican Woods et al (2003), normalmente una segunda lesión es de mayor severidad que la lesión previa, y estos autores comentan que dicha lesión frecuentemente se debe a una rehabilitación inadecuada o insuficiente. Pero estos autores introducen otro concepto que desarrollaremos más adelante, y es la importancia que tendría el establecer criterios de predicción de lesiones para poder desarrollar programas de prevención específicos.



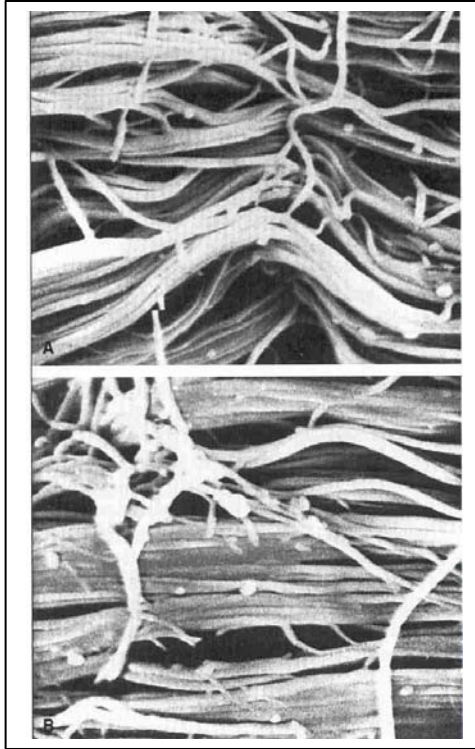


Figura 7.- Capacidad del colágeno de disponerse de forma paralela ante una primera carga en tensión.

Sobre la prevención específica en el tobillo, está claro que es necesario progresar más allá de lo que habitualmente se tiende a desarrollar. Woods et al (2003) explican un estudio donde encontraron que el 32% de los jugadores llevaban protección en el momento de la lesión, cifra relativamente elevada teniendo en cuenta que dicha protección ha de ser una herramienta de prevención.

Stacoff et al (1996) explican que para disminuir el riesgo de lesión hay que limitar la inversión subastragalina, o sea, dar estabilidad lateral, y para ello explica que habitualmente se utilizan tobilleras, zapatillas de caña alta y vendajes. Tal y como ya hemos explicado, los movimientos con cambio de dirección son numerosos en diferentes deportes (baloncesto, fútbol, voleibol, tenis y balonmano, entre otros). En estos movimientos es normal que la parte medial de la suela toque primero el suelo, produciendo una gran palanca relativa a la articulación subastragalina (figura 8, Stacoff et al, 1996).

La magnitud de esta palanca depende del diseño y propiedades de la suela. En este trabajo intentan ver los efectos cinemáticos de diferentes diseños de suela y las propiedades de la estabilidad lateral en el tobillo durante movimientos de cambio de dirección.

En el tratamiento de los factores de riesgo ya hemos comentado que la existencia de una lesión previa es un punto predisponente importante para tener una nueva lesión de tobillo. Para evitar esto, Woods et al (2002) comentan de la necesidad

de una rehabilitación completa y de un programa preventivo adecuado de propiocepción. Es conocida la importancia del entrenamiento del equilibrio estimulando los receptores propioceptivos, y hemos de pensar que esto es importante para adaptar al máximo desde el punto de vista mecánico la cápsula articular y especialmente los ligamentos ante la existencia de cargas.

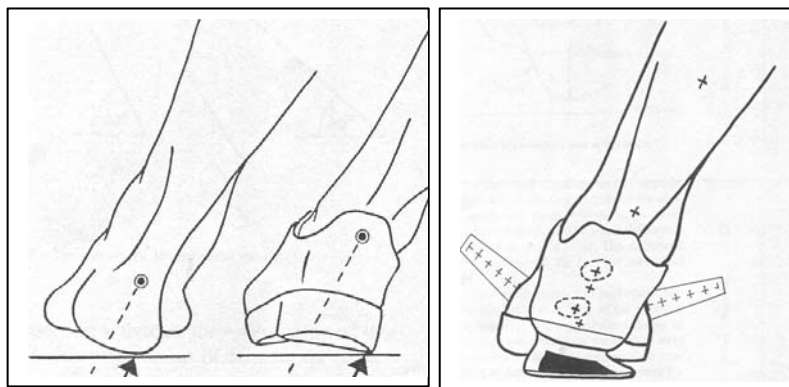


Figura 8.- Podemos ver cómo la palanca producida por el calzado dispone al pie a sufrir momentos de inversión más importantes (izquierda). A la derecha podemos ver los beneficios de una posible suela que sea deformable por la cara medial del talón (Stacoff et al, 1996).

Por otra parte, parece ser que crear adaptaciones neurológicas para acortar el tiempo de respuesta muscular ante la existencia de una carga potencialmente lesiva es muy difícil, pues Stacoff et al (1996) explican que la inversión de tobillo se produce en los primeros 40ms después del contacto en una recepción, hecho más rápido que la latencia que tienen los músculos peroneos.

2.- La necesidad de orientar de forma específica las cargas en el tratamiento y prevención de lesiones.

Hablando específicamente del tratamiento de lesiones articulares de tobillo y de su prevención, Woods et al (2003) recuerdan que los grados I y II de distensión ligamentosa pueden tratarse de forma conservadora, con tratamiento funcional. El grado III es optativo, pues puede intentarse el tratamiento conservador, aunque si no se está satisfecho del resultado puede optarse por la cirugía. El mecanismo de lesión es muy importante tanto desde el punto de vista del tratamiento cómo de la prevención.

Woods et al (2003) apoyan la idea que los atletas han de rehabilitarse mediante ejercicios que representen potencialmente los gestos lesionales. Si esta idea es aplicada, las acciones de saltos, carreras, cambios de dirección y giros tendrán que

incluirse de forma asidua en las últimas fases del tratamiento del deportista lesionado, al igual que en la planificación de prevención. Los mecanismos de contacto también deberían incluirse (tackle), aunque es más difícil de preservar la integridad física en estos ejercicios, por lo que hay que extremar la precaución.

Tal y como ya hemos comentado, la mayoría de lesiones se producen en competición en comparación a los entrenamientos, hecho que concuerda con el mecanismo de contacto, mayor en los partidos de competición. En el registro de lesiones de Woods et al (2003) efectuaron, vieron que la mayoría de ellas se producía en el último tercio de cada parte de un partido. Este hecho apoya la idea de realizar un entrenamiento de resistencia en la rehabilitación del tobillo para evitar la fatiga al final de cada parte. Esta idea requiere una mayor investigación, pues otros trabajos han encontrado un reparto más uniforme de las lesiones deportivas durante un acto competitivo, tema que ya hemos tratado anteriormente.

### 3.- Aplicación de contenciones externas.

Thacker et al (1999) explican en su revisión que diferentes estudios han tratado la prevención de lesiones de tobillo, incluyendo medidas como un calzado adecuado, ortesis, vendajes, introducción de nuevas reglas en el deporte e instruyendo a entrenadores sobre estrategias de prevención de lesiones. En su trabajo enfatizan en la evidencia que proporcionan los ensayos clínicos.

Los trabajos que tratan sobre la aplicación de ortesis y vendajes han demostrado una restricción de la inversión del tobillo con estas intervenciones. Pero la disminución de la velocidad de inversión no llega a proporcionar a los peroneos tiempo suficiente para evitar el mecanismo lesional. Además, esta restricción de la inversión es reducida con el ejercicio, especialmente en los deportistas que utilizan vendajes (por la disminución de su efectividad a medida que es solicitado en la práctica deportiva). De todas maneras, estas medidas pueden volverse a tensar y evitar la inversión extrema, y pueden también proteger el tobillo previniendo el movimiento de inversión precargando y manteniendo la articulación cercana a una posición anatómica en el momento del impacto. Un efecto negativo que muestran algunos trabajos es la escasa, pero existente, disminución del rendimiento deportivo por la colocación de vendajes y ortesis, aunque otros estudios no muestran tal afectación en la práctica deportiva.

La revisión de Thacker et al (1999) está centrada en tres puntos:

- Calzado y vendajes: aquí destacan dos estudios, el primero de los cuales (Barret et al, 1993), realizado en jugadores universitarios de baloncesto, mostró que el calzado no influía en la disminución de la incidencia de

esguinces de tobillo, aunque sí encontraron que la utilización de cámaras de aire en las botas de caña alta sí reducían dichas lesiones, aunque no de forma significativa; respecto al segundo estudio (Garrick y Requa, 1973), también realizado en jugadores de baloncesto, sí mostró que las botas de caña alta tenían un buen efecto protector, al igual que lo mostró la utilización de vendajes; explican que, de hecho, el efecto protector fue debido en primera instancia al vendaje, el cual se vio reforzado por el tipo de calzado utilizado, aunque hemos de pensar que este trabajo es de hace más de 30 años

- Ortesis (tobillos): uno de los estudios revisados (Rovere et al, 1988) mostró que, en futbolistas, la utilización de vendajes no era tan efectiva como las ortesis; en otro trabajo realizado (Surve et al, 1994), también en futbolistas, se demostró el rol protector de las ortesis en jugadores con lesión previa de esguinces de tobillo, pero no pudo verse el mismo efecto en jugadores que no habían sufrido previamente este tipo de lesión; otro trabajo con futbolistas (Tropp et al, 1985) comparó tres grupos: uno utilizó un tipo de ortesis, otro realizó un entrenamiento de equilibrio y el tercero no se sometió a ningún tipo de intervención; el mayor número de lesiones se produjo en los jugadores con existencia de lesión previa y entre los que no fueron sometidos a intervención alguna, mientras los deportistas que realizaron el trabajo de equilibrio o que llevaban la ortesis vieron reducida la posibilidad de sufrir un esguince de tobillo;
- Entrenamiento: comentan el estudio de Ekstrand et al (1983) realizado con futbolistas, donde se vio cómo un grupo con un programa largo de entrenamiento intensivo redujo los esguinces de tobillo en comparación con un programa de entrenamiento standard, aunque hay que tener en cuenta que en este trabajo se obligó a que todos los jugadores con lesión previa llevaran un vendaje y participaran en un programa de rehabilitación; otro estudio sobre jugadores de voleibol en Noruega (Bahr y Bahr, 1997) demostró que un programa de prevención disminuyó la incidencia de esguinces de tobillo; dicho programa consistió en potenciar la educación del deportista sobre los factores de riesgo, tratamiento, rehabilitación y entrenamiento del equilibrio y aprendizaje de técnicas de despegue en el salto minimizando posibles riesgos existentes.

En la reflexión que Thacker et al (1999) realizan en su revisión, explican que parece ser que el trabajo de Ekstrand et al (1983) demuestra que el entrenamiento

sobre agilidad y flexibilidad disminuye el riesgo de lesión en el tobillo, y el trabajo de Caraffa et al (1996) con futbolistas italianos también encuentra resultados similares.

También parece efectivo el hecho de educar al deportista, así como hacer que éste siga un plan de rehabilitación que incluya la utilización de vendajes en el caso de que hayan tenido una lesión previa. Estos autores (Thacker et al, 1999) comentan el trabajo de Garrick y Requa (1973), donde se explica que los vendajes pierdan gran parte de su rol protector en los primeros 10 minutos de actividad y que dentro de los 30 minutos son totalmente ineficaces ante un mecanismo de inversión, pero también respecto a esto es necesario tener en cuenta que se trata de una publicación de hace muchos años, y sería importante pensar en la evolución de las técnicas de vendaje así como en los materiales utilizados.

De todas maneras, es posible que la protección residual que pueda aportar un vendaje durante una práctica deportiva pueda asociarse con un aumento de la propiocepción (aunque posiblemente mejor podríamos decir exterocepción) que permite a la musculatura peronea reaccionar más rápidamente para inhibir la inversión extrema, aunque otros trabajos niegan ambos efectos, tanto el del vendaje como el de la posibilidad de que la reacción peroneal pueda llegar a prevenir una lesión.

En cuanto al calzado, ya hemos comentado que algunos estudios encuentran efectos positivos al respecto, aunque también otros explican el déficit que provocan a nivel propioceptivo y por tanto una mayor exposición a sufrir lesiones. Con relación a esto último, otros trabajos hablan del elevado coste de los vendajes y de la mala adecuación del calzado deportivo, inclinándose por la eficiencia que muestra la utilización de ortesis.

Thacker et al (1999) dan unos consejos en su trabajo. Explican que los atletas con un esguince de tobillo han de completar su programa de rehabilitación antes de volver al entrenamiento o la competición, y aquellos que sufren un esguince de gravedad severa o importante han de llevar una ortesis durante al menos seis meses. Además, resaltan la importancia del entrenamiento en pretemporada para facilitar la prevención de lesiones, sobre todo mediante el trabajo de fuerza, agilidad y flexibilidad, también a realizar durante el periodo competitivo.

La revisión de Quinn et al (2000) sobre intervenciones en la prevención de lesiones ligamentosas de tobillo concluyó, basándose en los resultados de cinco ensayos clínicos randomizados, que la utilización de soportes externos del tobillo reduce el número de esguinces de tobillo. Esta reducción se producía de forma importante en atletas que habían tenido una lesión previa, pero también era evidente en los deportistas que no habían tenido lesión previa alguna.

Gross y Liu (2003) realizan una revisión sobre el papel de las tobilleras en la prevención de los esguinces de tobillo. Comentan que los resultados de diferentes estudios muestran que las tobilleras pueden reducir la incidencia de este tipo de lesiones en futbolistas.

También Rovere et al (1988) muestran la mejor prevención de tobilleras que las que realizan los vendajes (en población de jugadores universitarios de fútbol americano). Existen estudios que demuestran resultados parecidos en jugadores de baloncesto. Los estudios comentados apoyan la idea de que las tobilleras semirígidas son capaces de reducir la incidencia de lesiones ligamentosas de tobillo. En esta misma revisión se trata el tema de la falta de confort que muestra el deportista con relación a la utilización de tobilleras. Los autores animan a los médicos a no abandonar el hecho de recomendar su utilización en pacientes con riesgo de lesión a pesar de que perciban disconfort en un inicio. Las tobilleras más flexibles pueden adaptarse mejor a la anatomía de cada sujeto, y es mejor la utilización de éstas que no utilizar ninguna protección. Además, parece ser que la utilización de tobilleras no afecta el rendimiento deportivo.

Más actualmente, la revisión de Olmsted et al (2004) explica que la mayoría de artículos sobre tobilleras y vendajes han estado focalizados más en el rendimiento que en la prevención que consiguen, es decir, aún siendo importantes las mediciones sobre el arco de movimiento, fuerza, propiocepción y control neuromuscular, se ha de conocer hasta que punto estas medidas de prevención consiguen disminuir el número de esguinces de tobillo. Estos autores comentan que la literatura que han revisado revela que la mayoría de artículos no introducían un grupo control en su diseño de estudio. Según el análisis que realizan, las tobilleras, aún siendo en principio más caras económicamente hablando, son aproximadamente 3 veces menos costosas que los vendajes debido a que pueden utilizarse durante toda la temporada. Así, la aplicación de una tobillera es menos costosa y más fácil, requiriendo menos tiempo. Además, la tobillera produce mayor limitación de la inversión. También se ha documentado que los vendajes y tobilleras producen una mejora a nivel propioceptivo y de control neuromuscular, pero no está claro qué intervención es más efectiva en este sentido.

A pesar de esto, es importante tener en cuenta que la posibilidad de mejora propioceptiva con la colocación de vendajes o tobilleras no está nada clara, pues no hay explicación que la justifique. Por otra parte, hemos de pensar en la repercusión de la colocación de un vendaje o tobillera (limitadores de la movilidad del tobillo) en otras articulaciones, es decir, si la restricción citada puede o no afectar negativamente

mediante una lesión a una articulación vecina. Los estudios sobre el tema no tratan este aspecto.

## BIBLIOGRAFÍA (Prevención y sobrecarga excéntrica)

- 1) Aagaard P, Simonsen EB, Trolle m, Bangsbo J y Klausen K. Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction 1and contraction model. *Acta Physiol Scand*, 1995; 154: 421-27.
- 2) Aagaard P, Simonsen EB, Trolle m, Bangsbo J y Klausen K. Specificity of training velocity and training load on gain in isokinetic knee joint strength. *Acta Physiol Scand*, 1996; 156: 123-129.
- 3) Adeyanju SA y Akanle OO. Fatigue characteristics of champion power and endurance athletes during force estimation. *J Sports Med Phys Fitness*. 1996; 36 (2): 90-4.
- 4) Alfredson H, Pietilä T, Jonson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf-muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med*, 1998; 26: 360-366.
- 5) Andersen TE, Larsen O, Tenga A, Engebretsen L, Bahr R. Football incident analysis: a new video based method to describe injury mechanisms in professional football. *Br J Sports Med*, 2003; 37 (3): 226-32.
- 6) Anderson O. Can proper proprioception training reduce your probability of injury? *Sports Injury Bulletin*, 2002; 17: 1-8.
- 7) Armstrong RB, Ogilvie RW, Schwane JA. Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 1983; 54: 80-93.
- 8) Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*, 2003; 13 (4): 244-50.
- 9) Askling C, Lund H, Saartok T, Thostensson A. Self-reported hamstring injuries in student-dancers. *Scand J Med Sci Sports*, 2002; 12: 230-35.
- 10) Askling C, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Sports-related hamstring strains – two cases with different etiologies and injury sites. *Scand J Med Sci Sports*, 2000; 10: 304-07.
- 11) Bahr R, Reeser J;. Injuries among world-class professional beach volleyball players. *Am J Sports Med*, 2003; 31 (1): 119-125.
- 12) Bahr R, Bahr IA. Incidence of acute volleyball injuries: a prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors. *Scand J Med Sci Sports*, 1997; 7: 166-71.



- 13) Bangsbo J. Physiological demands. In: Ekblom B, ed. Football (Soccer). Oxford, UK: Blackwell, 1994: 43-58.
- 14) Baratta R, Solomonow M, Zhou BH, et al. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med*, 1988; 16: 113-22.
- 15) Barlett MJ, Warren PJ. Effect of warning up on knee proprioception before sporting activity. *Br J Sports Med*, 2002; 36 (2): 132-4.
- 16) Barret JR, Tanji JL, Drake C, et al. High-versus low-top shoes for the prevention of ankle sprains in basketball players. A prospective randomized study. *Am J Sports Med*, 1993; 21: 582-85.
- 17) Beard DJ, Dodd CAF, Trundle HR, Simpson AHRW. Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency: a prospective randomised trial of two physiotherapy regimes. *J Bone Joint Surg Br*, 1994; 76: 654-659.
- 18) Beighton P, Solomon L, Soskolne CL. Articular mobility in an African population. *Ann Rheum Dis*, 1973; 32: 413-18.
- 19) Bennell K, Wajswelner H, Lew P, et al. Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Br J Sports Med*, 1998; 32: 309-14.
- 20) Bernhardt DB. *Fisioterapia del deporte*. Barcelona: Jims; 1990.
- 21) Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR, Cochrane JL. Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc*, 2001a; 33 (7): 1176-81.
- 22) Besier TJ, Lloyd DG, Cochrane JL, Ackland TR. External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc*, 2001b; 33 (7): 1168-75.
- 23) Boden BP y Garrett WE. Tibia and fibula fractures in soccer players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1999; 7: 262-66.
- 24) Bodor M. Quadriceps protects the anterior cruciate ligament. *J Orthop Res*, 2001; 19 (4): 629-33. (Resumen).
- 25) Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc*, 2001; 33: 783-790.
- 26) Cahill BR, Griffith EH, effect of preseason conditioning on the incidence and severity of high school football knee injuries. *Am J Sports Med*, 1978; 6: 180-4.

- 27) Caraffa A, Cerulli G, Progetti M, Aisa G, Rizzo A. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1996; 4 (1): 19-21.
- 28) Cerulli G, Benoit DL, Caraffa A, Ponteggia F. Proprioceptive training and prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2001; 31 (11): 655-60.
- 29) Chandy TA y Grana WA. Secondary school athletic injury in boys and girls: a three-year comparison. *Physician Sportsmed*, 1985; 13 (3): 106-11.
- 30) Chen TC, Hsieh SS. Effects of a 7-day eccentric training period on muscle damage and inflammation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2001; 33 (10): 1732-1738.
- 31) Davies G. Compendium of isokinetics in clinical usage. LaCrosse, WI, S & Publisheres, 1984.
- 32) De Luca C. Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 1984; 11 (4): 251-279.
- 33) De Luca C. The use of surface electromyography in biomechanics (1997) [www.delsys.com/emg\\_articles/biomechanics.shtml](http://www.delsys.com/emg_articles/biomechanics.shtml). Fecha de consulta: 8-1-200.
- 34) Diallo O, Dore E, Duche P, Van Praagh E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 2001; 41 (3): 342-8.
- 35) Drawer S, Fuller CW. Evaluating the level of injury in English professional football using a risk based assessment process. *Br J Sports Med*, 2002; 36 (6): 446-51.
- 36) Dunnam LO, Hunter GR, Williams BP, et al. Comprehensive evaluation of the University of Alabama at Birmingham women's volleyball training program. *Nat Strength Conditioning Assoc J*, 1988; 19 (1): 50-52.
- 37) Dvorak J, Junge A, Chomiak J, Graf-Baumann T, Peterson L, Rosch D, Hodgson R. Risk factor analysis of injuries in football players. Possibilities for a prevention program. *Am J Sports Med*, 2000; 28 (5 Suppl): s69-74.
- 38) Eils E, Rosenbaum D. A multi-station proprioceptive exercise in patients with ankle instability. *Med Sci Sports Exerc*, 2001; 33 (12): 1991-1998.
- 39) Einsingbach T, Klümper A, Bidermann L. Fisioterapia y rehabilitación en el

deporte. Barcelona: Scriba, 1994.

- 40) Einsingbach T. La recuperación muscular en fisioterapia y en la rehabilitación. Barcelona: Paidotribo, 1994.
- 41) Ekstrand J, Gillquist J. Soccer injuries and their mechanisms: a prospective study. *Med Sci Sports Exerc*, 1983; 15: 267-70.
- 42) Ekstrand J, Gillquist J, Liljedahl SO. Prevention of soccer injuries. Supervision by doctor and physiotherapist. *Am J Sports Med*, 1983; 11 (3): 116-20.
- 43) Ekstrand J, Gillquist J. Prevention of sport injuries in football players. *Int J Sports Med*, 1984; 5 (Suppl): 140-44.
- 44) Ekstrand J, Gillquist J. The frequency of muscle tightness and muscle injuries in soccer players. *Am J Sports Med*, 1992; 10: 75-78.
- 45) Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *Br J Sports Med*, 2004; 38: 493-497.
- 46) Enoka R. Mechanisms of muscle fatigue: central factors and task dependency. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1995; 5 (3): 141-149.
- 47) Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 1992; 72 (5): 1631-48.
- 48) Etienne JC. Sport et rééducation. París: Masson, 1980.
- 49) Fagenbaum R, Darling WG. Jump landing strategies in male and female college athletes and the implications of such strategies for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*, 2003; 31 (2): 233-240.
- 50) Feller JA, Webster KE, Taylor NF, Payne R, Pizzari T. Effect of physiotherapy attendance on outcome after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot study. *Br J Sports Med*, 2004; 38: 74-77.
- 51) Fink C, Hoser C, Hackl W, Navarro RA, Benedetto KP. Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture – es sports activity a determining variable? *Int J Sports Med*, 2001; 22 (4): 304-9.
- 52) Fischer DA, Tewes DP, Boyd JL, Smith JP, Quick DC. Home based rehabilitation for anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Rel Res*, 1998; 347: 194-199.
- 53) Fitzgerald GK, Axe MJ, Snyder-Mackler L. The efficacy of perturbation training in nonoperative anterior cruciate ligament rehabilitation programs for

- physical active individuals. *Phys Ther*, 2000; 80 (2): 128-40.
- 54) Francisco Ac, Nightingale RW, Guilak F, Glisson RR, Garrett WE Jr. Comparison of soccer shin guards in preventing tibia fracture. *Am J Sports Med*, 2000; 28 (2): 227-33.
  - 55) Freiwald J. *Prevención y rehabilitación en el deporte: planes y ejercicios para la recuperación de lesiones*. Barcelona: Hispano europea, 1994.
  - 56) Frenette J, Côté CH. Modulation of structural protein content of the myotendinous junction following eccentric contractions. *International Journal of Sports Medicine*, 2000; 21: 313-320.
  - 57) Friden J, Lieber RL. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiol Scand*, 2001; 171: 321-26.
  - 58) Fuller CW, Smith GL, Junge A, Dvordak J. An assessment of player error as an injury causation factor in international football. *Am J Sports Med*, 2004a; 32 (1Suppl): 28S-35S.
  - 59) Fuller CW, Smith GL, Junge A, Dvordak J. The influence of tackle parameters on the propensity for injury in international football. *Am J Sports Med*, 2004b; 32 (1Suppl): 43S-53S.
  - 60) Gandevia SC. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews*, 2001; 81 (4): 1725-1789.
  - 61) Garret WE, Ross RF, Nikolaou PD, et al. Compute tomography of hamstring muscle strains. *Med Sci Sports Exerc*, 1989; 28: 506-14.
  - 62) Garrick JG, Requa RK. Role of external support in the prevention of ankle sprains. *Med Sci Sports*, 1973; 5: 200-03.
  - 63) Giza E, Guller C, Junge A, Dvorak J. Mechanisms of foot and ankle injuries in soccer. *Am J Sports Med*, 2003; 31 (4): 550-4.
  - 64) Gleeson N, Mercer T, Campbell I. Effect of fatigue task on absolute and relativized indices of isokinetic leg strength in female collegiate soccer players. *J of Sports Traumatology*, 1995; 13: 502-503.
  - 65) Gleeson NP, Reilly T, Mercer TH, Rakowski S, Rees D. Influence of acute endurance activity on leg neuromuscular and musculoskeletal performance. *Med Sci Sports Exerc*, 1998; 30 (4): 596-608.
  - 66) Gross MT, Liu HY. The role of ankle bracing for prevention of ankle sprain injuries. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003; 33 (10): 572-7.
  - 67) Hagglund M, Walden M, Ekstrand J. Exposure and injury risk in Swedish elite football: a comparison between seasons 1982 and 2001; *Scand J Med Sci*

- Sports, 2003; 13 (6): 364-70.
- 68) Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit. Of injuries in professional football. *Br J Sports Med*, 2001; 35: 43-7.
  - 69) Haycock CE, Gillette JV. Susceptibility of women athletes to injury: Myth vs reality. *JAMA*, 1976; 236: 314-316.
  - 70) Heidt RS Jr, Sweeterman LM, Carlonas RL, Traub JA, Tekulve FX. Avoidance of soccer injuries with preseason conditioning. *Am J Sports Med*, 2000; 28 (5): 659-62.
  - 71) Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 1965; 28: 560-80.
  - 72) Hewett TE, Lindenfeld TN, Roccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med*, 1999; 27 (6): 699-706.
  - 73) Hewett TE, Paterno MV, Myer GD. Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clinical Orthopaedics and related research*, 2002; 402: 76-94.
  - 74) Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, et al. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med*, 1996; 24: 765-73.
  - 75) Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi OJ, Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med*, 2002; 36 (3): 218-21.
  - 76) Hölmich P, Uhrskou P, Ulnits L, Danstrup I, Nielsen MB, Bjerg AM. Effectiveness of active physical training as treatment for long-standing adductor-related groin pain in athletes: randomised trial. *The Lancet*, 1999; 353: 439-43.
  - 77) Hortobagyi T, Houmard J, Fraser D, Dudek R, Lambert J, Tracy J. Normal forces and myofibrillar disruption after repeated eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 1998; 84 (2): 492-498
  - 78) Huijing, P. Important experimental factors for skeletal muscle modelling: non-linear changes of muscle length force characteristics as a function of degree of activity. *European Journal of Morphology*, 1996; 34 (1): 47-54.
  - 79) Hultman E, Spriet LL, Soderlund K. Biochemistry of muscle fatigue. *Biomedica Biochimica Acta*, 1986; 45 (1-2): S97-S106.
  - 80) Huston LJ, Wojtys EM. Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes. *Am J Sports Med*, 1996; 24: 427-36.

- 81) Inklaar H, Bol E, Schmikli SL, Mosterd WL. Injuries in male soccer players: team risk analysis. *Int JJ Sports Med*, 1996; 17 (3): 229-34.
- 82) Inklaar H. Soccer injuries. II: Aetiology and prevention. *Sports Med*, 1994; 18 (2): 81-93.
- 83) Järvinen T, Dääriäinen M, Järvinen M, Kalimo H. Muscle strain injuries. *Curr Opin Rheumatol*, 2000; 12: 155-161.
- 84) Junge A, Dvorak J, Graf-Baumann T. Football injuries during the World Cup 2002. *Am J Sports Med*, 2004; 32 (1 Suppl): 23S-7S.
- 85) Junge A, Rosch D, Peterson L, Graf-Baumann T, Dvorak J. Prevention of soccer injuries: a prospective intervention study in youth amateur players. *Am J Sports Med*, 2002; 30 (5): 652-9.
- 86) Kannus P. Immobilization or early mobilization after an acute soft-tissue injury? *Phys Sportmed*, 2000; 28: 55-63.
- 87) Kern-Steiner R, Washecheck HS, Kelsey DD. Strategy of exercise prescription using an unloading technique for functional rehabilitation of an athlete with an inversion ankle sprain. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1999; 29 (5): 282-7.
- 88) Kisner C. *Therapeutic exercise: foundations and techniques*. Philadelphia: FA Davis, 1996.
- 89) Koskinen SO, Ahtikoski AM, Komulainen J, Hesselink MK, Drost MR, Takala TE. Short-term effects of forced eccentric contractions on collagen synthesis and degradation in rat skeletal muscle. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology*, 2002; 444 (1-2): 59-72.
- 90) Larson M, Pearl AJ, Jaffet R, et al. Soccer. In: Caine DJ, Caine CG, Lindner KJ, eds. *Epidemiology of sports injuries*. Cahampaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1996: 387-99.
- 91) LaStayo PC, Pierotti DJ, Pifer J, Hoppeler H, Lindstedt SL. Eccentric ergometry: increases in locomotor muscle size and strength at low training intensities. *Am J Physiol Regul Integr comp. Physiol*, 2000; 278: R1282-1288.
- 92) LaStayo PC, Wolf JM, Lewek MD, Zinder-Mackler L, Reich T, Lindstedt SL. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003; 33: 557-571.
- 93) Lehnhard RA, Lehnhard HR, Young R, et al. Monitoring injuries on a college soccer team: the effect of strngth training. *J Strength Cond Res*, 1996; 10: 115-19.
- 94) Letelier JC y Weber PP. Spike sorting based on discrete wavelet transform

- coefficients. *Journal of Neurosciences Methods*, 2000; 101: 93-106.
- 95) Lian Ø, Refsnes PE, Engebretsen L, Bahr R. Performance characteristics of volleyball players with patellar tendinopathy. *Am J Sports Med*, 2003; 31 (3): 408-13.
  - 96) Lindstedt SL, Reich TE, Keim P, LaStayo PC. Do muscles function as adaptable locomotor springs? *J Exp Biol.*, 2002; 205: 2211-2216.
  - 97) Lloyd DG. Rationale for training programs to reduce anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2001; 31 (11): 645-54; discussion 661.
  - 98) McHugh MP, Tyler TF, Browne MG, Gleim GW, Nicholas SJ. Electromyographic predictors of residual quadriceps muscle weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 2002; 30(3): 334-339.
  - 99) McKay G, Goldie P, Payne W, et al. A prospective study of injuries in basketball: a total profile and comparison by gender and standard of competition. *J Sci Med Sport*, 2001; 4: 196-211.
  - 100) Meeuwisse W, Selmer R, Hagel BE. Rates and risks of injury during intercollegiate basketball. *Am J Sports Med*, 2003; 31 (3): 379-85.
  - 101) Morgan Be, Oberlander MA. An examination of injuries in major league soccer. The inaugural season. *Am J Sports Med*, 2001; 29 (4): 426-30.
  - 102) Murphy DF, Connolly DAJ, Beynon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med*, 2003; 37: 13-29.
  - 103) Nicholas SJ, Tyler TF. Adductor muscle strains in sport. *Sports Med*, 2002; 32 (4): 339-44.
  - 104) Nichols TR. A biomechanical perspective on spinal mechanisms of coordinated muscular actions: an architecture principle. *Acta Anat (Basel)*, 1994; 151: 1-13.
  - 105) Olmsted LC, Vela LI, Denegar CR, Hertel J. Prophylactic ankle taping and bracing: a numbers-needed-to-treat and cost-benefit analysis. *J Athl Train*, 2004; 39 (1): 95-100.
  - 106) Olsen L, Scania A, Mackay M, Babul S, Reid D, Clark M, Raina P. Strategies for prevention of soccer related injuries: a systematic review. *Br J Sports Med*, 2004; 38 (1): 89-94.
  - 107) Orchard J, Marsden J, Lord S, Garlick D. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med*, 1997; 25: 81-85.

- 108) Östenberg A, Roos H. Injury risk factors in female European football. A prospective study of 123 players during one season. *Scand J Med Sci Sports*, 2000; 10 (5): 279-85.
- 109) Parkkari J, Kujala UM, Kannus P. Is it possible to prevent sports injuries? Review of controlled clinical trials and recommendations for future work. *Sports Med*, 2001; 31 (14): 985-95.
- 110) Patla AE, Adkin A, Ballard T. Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body reorientation. *Exp Brain Res*, 1999; 129: 629-34.
- 111) Peterson L, Junge A, Chomiak J, Graf-Baumann T, Dvorak JJ. Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *Am J Sports Med*, 2000; 28 (5): S51-S57.
- 112) Pope MH, Aleksiev A, Panagiotacopoulos ND, Lee JS, Wilder DG, Freiesen K, Stielau W, Goel VK. Evaluation of low back muscle surface EMG signals using wavelets. *Clinical Biomechanics*, 2000; 15: 567-573.
- 113) Potvin JR, Bent LR. A validation of techniques using EMG signals from dynamic contractions to quantify muscle fatigue during repetitive tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1997; 7 (2): 131-139.
- 114) Quinn K, Parker P, de Bie R, Rowe B, Handoll H. Interventions for preventing ankle ligament injuries. *Cochrane Database Syst Rev*, 2000; (2): CD000018.
- 115) Rahnama N, Reilly T, Lees A, Graham-Smith P. Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *J Sports Sci*, 2003; 21 (11): 933-42.
- 116) Rahnama N, Reilly T, Lees A. Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *Br J Sports Med*, 2002; 35 (5): 354-9.
- 117) Robbins S y Grouw G. Athletic footwear: unsafe due to perceptual illusions. *Med Sci Sports Exerc*, 1991; 23: 217-24.
- 118) Rovere GD, Clarke TJ, Yates CS, et al. Retrospective comparison of taping and ankle stabilizers in preventing ankle injuries. *Am J Sports Med*, 1988; 16: 228-233.
- 119) Roy SH, Bonato P, Knaflitz M. EMG assessment of back muscle function during cyclical lifting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1998; 8 (4): 233-45.
- 120) Rozzi SL, Lephart SM, Gear WS, Fu FH. Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *Am J Sports Med*, 1999; 27 (3): 312-9.



- 121) Ruskin A. Current therapy in physiatry. Philadelphia: WB Saunders, 1981.
- 122) Sandelin J, Santavirta S, Kiviluoto O. Acute soccer injuries in Finland in 1980. *Br J Sports Med*, 1985; 19 (1): 30-3.
- 123) Shelbourne KD, Kiltwyk TE, Wilckens JH, de Carlo MS. Ligament stability two to six years after anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon graft and participation in accelerated rehabilitation program *Am J Sports Med*, 1995; 23: 575-579.
- 124) Sherrington C. The integrative action of the Nervous System. Londres: Yale University Press, New Haven, y Oxford University Press, 1906.
- 125) Sherry MA y Best TM. A comparison of 2 rehabilitation programs in the treatment of acute hamstring strains. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2004; 34: 116-125.
- 126) Sheth P, Yu B, Laskowski ER, An K. Ankle disk training influences reaction times of selected muscles in a simulated ankle sprain. *Am J Sports Med*, 1997; 25: 538-43.
- 127) Söderman K, Alfredson H, Pietila T, Werner S. Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one outdoor season. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2001; 9 (5): 313-21.
- 128) Söderman K, Werner S, Pietila T, Engstrom B, Alfredson H. Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2000; 8 (6): 356-63.
- 129) Solomonow M y Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports*, 2001; 11: 64-80.
- 130) Spring H, Dvorák J, Dvorák V [et al]. Barcelona: Paidotribo, 2000.
- 131) St Clair Gibson A, Lambert MI, Durandt JJ, Scales N, Noakes TD. Quadriceps and hamstrings peak torque ratio changes in persons with chronic anterior cruciate ligament deficiency. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2000; 30: 418-27.
- 132) Stacoff A, Steger J, Stussi E, Reinschmidt C. Lateral stability in sideward cutting movements. *Med Sci Sports Exerc*, 1996; 28 (3): 350-8.
- 133) Stanish W, Rubinovich RM, Curwin S. Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clin Orthop*, 1986; 208: 65-8.
- 134) Steiner M, Grana WA, Chillag K, Schelberg-Karnes E. The effect of exercise on anterior-posterior knee laxity. *Am J Sports Med*, 1986; 14: 24-29.
- 135) Surve I, Schwelinus MP, Noakes T, Lombard C. A fivefold reduction in the

- incidence of recurrent ankle sprains in soccer players using the Sport-Stirrup orthosis. *Am J sports Med*, 1994; 22 (5): 601-6.
- 136) Tergau F, Geese R, Bauer A, Baur S, Paulus W, Reimers CD. Motor cortex fatigue en sports measured by transcranial magnetic double stimulation. *Med Sci Sports Exerc*, 2000; 32 (11): 1942-8.
- 137) Thacker SB, Stroup DF, Branch CM, Gilchrist J, Goodman RA, Weitman EA. The prevention of ankle sprains in sports. A systematic review of the literature. *Am J Sports Med*, 1999; 27 (6): 753-60.
- 138) Thacker SB, Stroup DF, Branche CM, Gilchrist J, Goodman RA, Porter Kelling E. Prevention of knee injuries in sports. A systematic review of the literature. *J Sports Med Phys Fitness*, 2003; 43 (2): 165-79.
- 139) Tol JL, Slim E, van Soest AJ, van Dijk CN. The relationship of the kicking action in soccer and anterior ankle impingment syndrome. A biomechanical analysis. *Am J Sports Med*, 2002; 30 (1): 45-50.
- 140) Trappe TA, Carrithers JA, White F, Lambert CP, Evans WJ, Dennis RA. Titin and nebulin content in human skeletal muscle following eccentric resistance exercise. *Muscle and Nerve*, 2002; 25: 289-292.
- 141) Tropp H, Askling C. Effects of ankle disc training on muscular strength and postural control. *Clin Biomech*, 1988; 3: 88-91.
- 142) Tropp H, Askling C, Gillquist J. Prevention of ankle sprains. *Am J Sports Med*, 1985; 13: 259-62.
- 143) Tyler TF, Nicholas SJ, Campbell RJ, Donellan S, McHugh MP. The effectiveness of a preseason exercise program to prevent adductor muscle strains in professional ice hockey players. *Am J Sports Med*, 2002; 30 (5): 680-3.
- 144) Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG, et al. Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med*, 2001; 35: 435-40.
- 145) Waddington G, Adams R. Football boot insoles and sensitivity to extent of ankle inversion movement. *Br J Sports Med*, 2003; 37 (2): 170-4; discussion 175.
- 146) Wadington J, Roderick M, Naik R. methods of appointment and qualifications of club doctors and physiotherapists in English professional football: some problems and issues. *Br J Sports Med*, 2001; 35: 48-53.
- 147) Watanabe I y Okubo J. The role of plantar mechanoreceptors in equilibrium control *Ann N Y Acad Sce*, 1981; 77: 588-77.

- 148) Watson AW. Sports injuries related to flexibility, posture, acceleration, clinical defects, and previous injury, in high-level players of body contact sports. *Int J Sports Med*, 2002; 22 (3): 222-5.
- 149) Wedderkopp N, Kalltoft M, Lundgaard B, Rosendahl M, Froberg K. Injuries in young female players in European team handball. *Scand J Med Sci Sports*, 1997; 7 (6): 342-7.
- 150) White KK, Lee SS, Cutuk A, Hargens AR, Pedowitz RA. EMG power spectra of intercollegiate athletes and anterior cruciate ligament injury risk in females. *Med Sci Sports Exerc*, 2003; 35 (3): 371-6.
- 151) Witvrouw E, Bellemans J, Lysens R, et al. Intrinsic risk factors for the development of patellar tendinitis in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med*, 2001; 29: 190-195.
- 152) Witvrouw E, Cools A, Sysens R, Cambier D, Vanderstraeten G, Victor J, Sneyers C, Walraens M. Suprascapular neuropathy in volleyball players. *Br J Sports Med*, 2000; 34: 174-80.
- 153) Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med*, 2003; 31 (1): 41-6.
- 154) Wojtys EM, Wylie BB, Huston LJ. The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees. *Am J Sports Med*, 1996; 24: 625-21.
- 155) Woods C, Hawkins R, Hulse M, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football: an analysis of ankle sprains. *Br J Sports Med*, 2003; 37 (3): 233-8.
- 156) Woods C, Hawkins R, Hulse M, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football-analysis of preseason injuries. *Br J Sports Med*, 2002; 36 (6): 436-41; discussion 441.
- 157) Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A. Football Association Medical Research Programme. *Br J Sports Med*, 2004; 38 (1): 36-41.
- 158) Worrell TW. Factors associated with hamstring injuries. An approach to treatment and preventative measures. *Sports Med*, 1994; 17: 338-345.

## EL TRABAJO EXCÉNTRICO (Julio Tous)

### Resumen características fundamentales

- Se genera una mayor cantidad de tensión que en el resto de acciones (Johnson et al, MSSE 1976).
- El reclutamiento de unidades motoras es menor (Morgan y Allen, JAP 1999)
- El gasto energético es menor (Lastayo et al, Am J Physiol 1999)
- Requieren un control neuromuscular diferenciado al resto de acciones (Enoka, JAP 1996).

### Efectos Negativos

- Se asocia directamente a la aparición de DOMS desde Asmussen (APS 1952).
- Posible alteración metabolismo oxidativo (mitocondrias y transporte de O<sub>2</sub>) aumentando el metabolismo anaeróbico: no parece según Walsh et al (MSSE, 2001).
- Microruptura muscular: discos Z (Friden et al IJSM 1983), sarcómeros (Morgan y Allen, JAP 1999), titina y nebulina (Trappe et al, Muscle Nerve 2002)
- Disminución de la tensión muscular (Allen et al, Acta Physiol Scand 2001)
- Altera la respuesta de órganos sensoriales musculares: husos musculares (Whitehead et al, J Physiol 2001) y GTO (Órganos Tendinosos de Golgi (Gregory et al., J Physiol 2001).

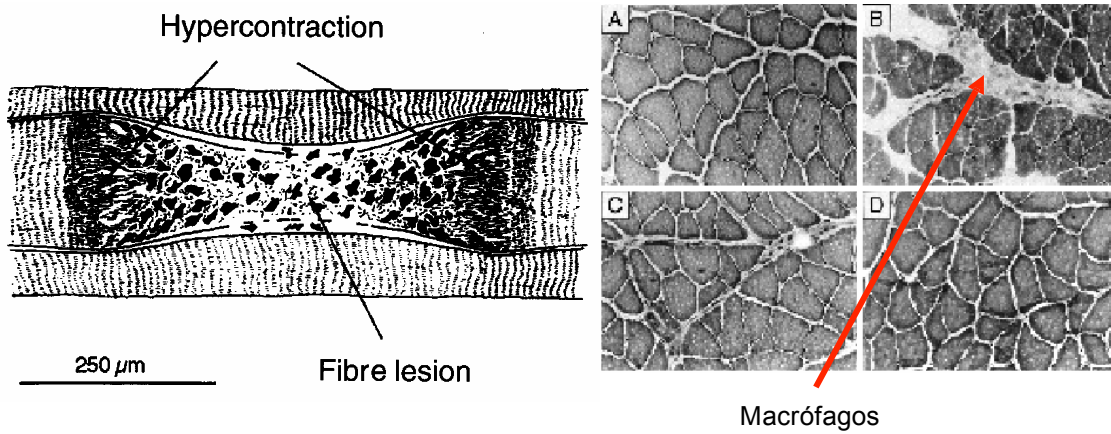


Figura 53. Mecanismo lesional y formación de macrófagos. Frenette J, Côté CH. *Int J Sports Med* 21: 313–320, 2000.

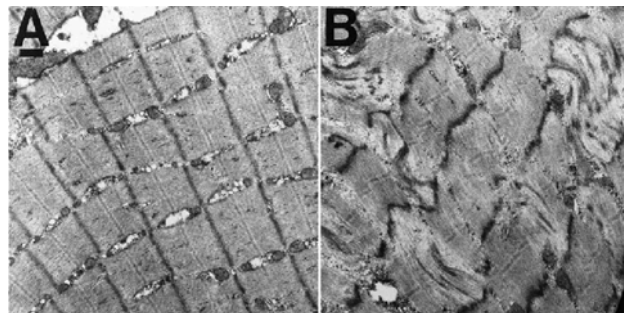


Figura 54. Alteraciones estructurales provocadas por el trabajo excéntrico. (Hortobagyi, T. et al. *J. Appl. Physiol.* 84(2): 492–498, 1998)

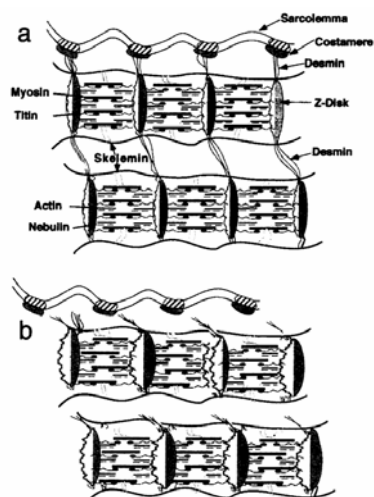


Figura 55. Fridén, J. and Lieber. *Acta Physiol Scand* 171: 321-326, 2001

## EFFECTOS POSITIVOS DEL ENTRENAMIENTO

- Producen un efecto de entrenamiento más pronunciado de forma que después de un periodo de entrenamiento disminuye el dolor y la debilidad muscular (Balnave y Thompson, JAP 1993, Chen y Hsieh, MSSE 2001).
- Proske y Morgan (J Physiol 2001) proponen que un ejercicio excéntrico moderado podría prevenir lesiones en la competición deportiva así como en pacientes con distrofia muscular de Duchenne.
- Recuperación de tendinitis: propuesta por el grupo de Curwin a principios de los 80 por primera vez, después ha sido demostrada su eficacia por el grupo de Alfredson (AJSM, 1998, KSSTA 2001) y Cannell et al (BJSM, 2001)

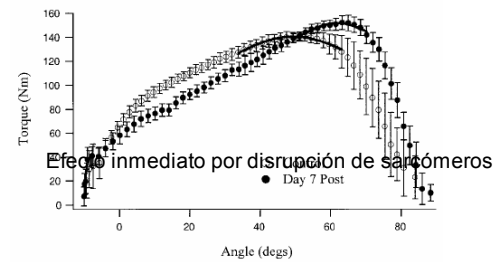
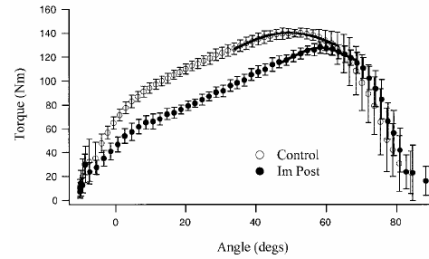
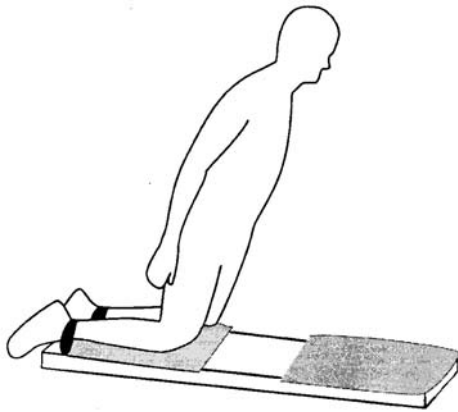


Figura 56. Ejercicio excéntrico para el tendón de aquiles

-Provoca una mayor hipertrofia en comparación con el trabajo concéntrico o isométrico (Hortobagy, J Physiol 2001). Recientemente Farthing y Chillibeck (EJAP 2003) han encontrado que si el entrenamiento excéntrico se realiza a altas velocidades los efectos son superiores.

- Aumento número de sarcómeros en serie Propuesto por Katz (J Physiol 1939) ha sido demostrado en humanos por Jones et al (EJAP 1997) y Brockett (MSSE 2001)

- Este hecho provoca un cambio en la relación tensión / longitud que se justifica como una respuesta protectora a consecuentes esfuerzos similares o superiores.



Efecto de entrenamiento a los 7 días. El músculo cambia como medida preventiva

Figura 57. Brockett, C. et al. Med Sci Sport Exerc 33: 783-90, 2001.

A continuación presentamos un estudio personal donde comparamos la actividad EMG en distintos músculos del tren inferior provocada por un ejercicio excéntrico mantenido y otros ejercicios para el tren inferior. En la tabla observamos una comparación entre un trabajo con tirante musculador más 20 kgs de peso y un squat clásico con 150 kgs. Las diferencias se encuentran sobre todo en el músculos recto femoral, al ser el que presenta una inserción más cercana a la cadera, por lo que se ve potenciado al extenderse ésta.

Tirante 20 kgs	Fase	Vasto interno	Vasto externo	Recto femoral	Peroneo largo
	Excéntrica	0,312	0,201	0,263	0,135
	Concéntrica	0,422	0,23	0,291	0,15
Squat Clásico 150 kgs		Vasto interno	Vasto externo	Recto femoral	Gastrocnemio
	Excéntrico	0,297	0,193	0,208	0,098
	RMS	0,308	0,202	0,209	0,101
	Concéntrico	0,363	0,224	0,179	0,1
	RMS	0,369	0,228	0,182	0,102

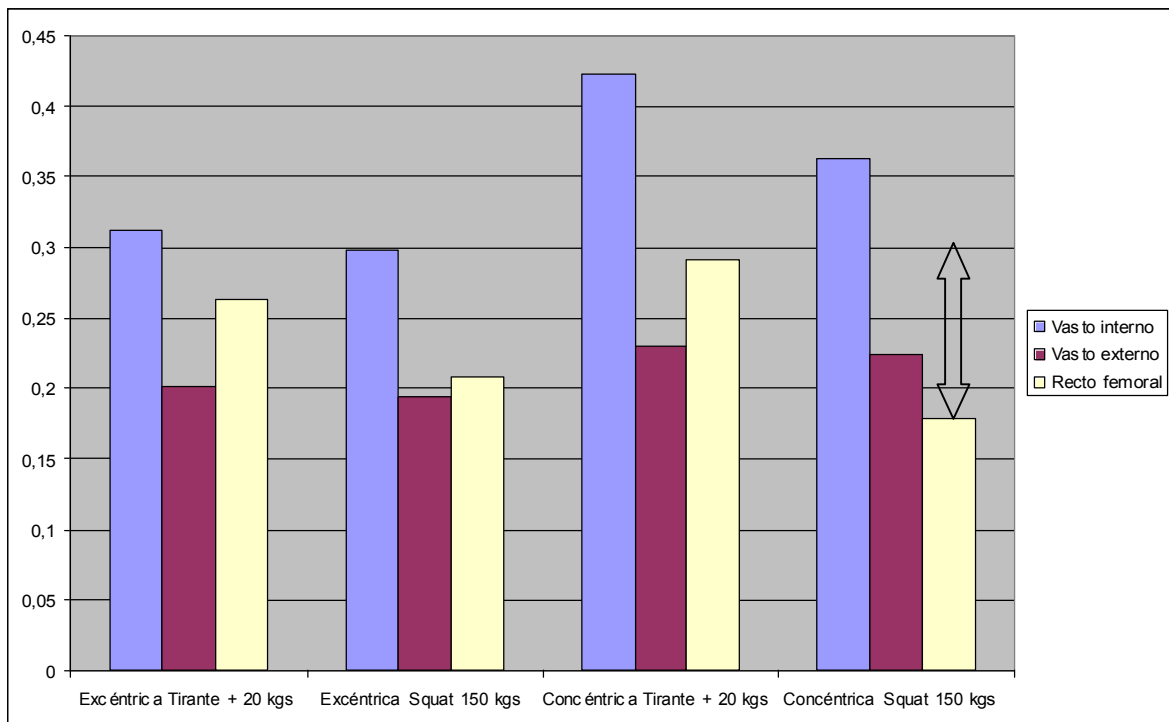


Figura 58. Diferencias en la actividad EMG entre el tirante musculador con 20 kgs adicionales y un squat con 150 kgs. Obsérvese la diferencia de actividad en el recto femoral (Tous y González de Suso, 2001; sin publicar)

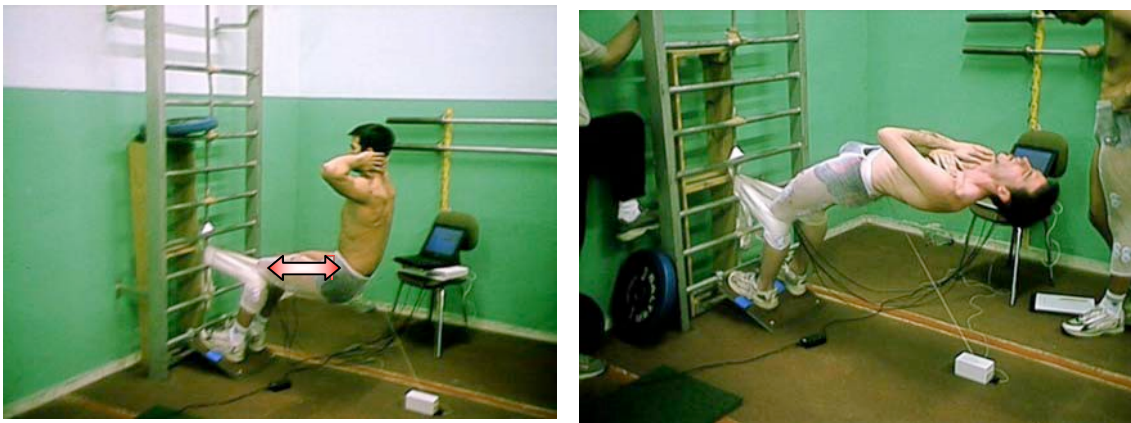


Figura 59. Ejercicios con tirante musculador.

## BIBLIOGRAFÍA EXCÉNTRICO (ver citas en texto)

FARTHING, J.P. AND PHILIP D. CHILIBECK. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. Eur J Appl Physiol 89: 578–586, 2003.



## LA SOBRECARGA EXCÉNTRICA (Daniel Romero)

Existen numerosos trabajos que hablan de los beneficios del ejercicio excéntrico con la intención de mejorar la fuerza muscular. Con relación a las adaptaciones moleculares vistas en la actividad excéntrica, Frenette y Côté (2000), trabajando con ratones, relatan un aumento de la síntesis proteica de vinculina y titina, dos proteínas citoesqueléticas de la unión miotendinosa, después de la realización de una actividad excéntrica. Según estos autores, el aumento observado en el contenido de estas proteínas puede inicialmente estar relacionado con la miofibrillogénesis asociada a una suma de sarcómeros en serie, posiblemente dada como respuesta a la realización de ejercicio excéntrico.

Trappe et al (2002) también apoyan esta idea, en un estudio donde trabajan con titina y nebulina en el VL del cuádriceps. Sus resultados muestran que existen componentes estructurales del aparato contráctil que son degradados después de un ejercicio excéntrico de elevada intensidad. Ligado a estos hallazgos encontramos el de Koskinen et al (2002), quienes, experimentando con ratas, han visto un aumento de la concentración de colágeno tipo IV después de la realización de trabajo excéntrico en el tibial anterior (las proteínas relacionadas con dicho tipo de colágeno aumentaban su presencia después del ejercicio).

El trabajo de Askling et al (2003) intenta ver los posibles beneficios del ejercicio excéntrico pero ya enfocado a la prevención de lesiones. Para ello utilizan 30 jugadores de fútbol de la primera división sueca. Los participantes fueron asignados de forma aleatoria al grupo de entrenamiento o al grupo control. Ambos grupos realizaron el mismo trabajo exceptuando que el grupo definido en el estudio como de entrenamiento ejecutó un trabajo adicional específico de isquiotibiales durante la pretemporada (10 semanas). Días antes y después de estas 10 semanas, los dos grupos de deportistas realizaron un test de fuerza de isquiotibiales y un test de velocidad de carrera. El protocolo de entrenamiento isquiotibial consistió en 16 sesiones, una de ellas cada cinco días durante las primeras cuatro semanas y una cada cuatro días durante las últimas seis semanas. Estos ejercicios se realizaron en condiciones de no fatiga con un calentamiento previo (15 minutos corriendo o en bicicleta). Lo realizaron en un ergómetro YoYo flywheel de isquiotibiales (leg curl, flexión de rodillas en posición de decúbito prono), el cual permite desarrollar una gran sobrecarga excéntrica.

Los resultados de Askling et al (2003) muestran un aumento de fuerza tanto concéntrico (19%) como excéntrico (15%) de los isquiotibiales (pico de fuerza), mientras el grupo control no mostró diferencias. Igualmente, el test de velocidad mejoró en el grupo de entrenamiento, mientras se mantuvo invariable en el grupo

control. En el periodo de 10 meses que duró el estudio se produjeron 13 lesiones de isquiotibiales, todas ellas durante el periodo competitivo. Tres de ellas se produjeron en el grupo de entrenamiento, mientras 10 lo hicieron en el grupo control. Del trabajo de Askling et al (2003) resalta el hecho de que la prevalencia de lesiones encontradas era muy elevada en el grupo control (67%), mucho mayor que en estudios previos (Morgan y Oberlander, 2001; Ekstrand y Gillquist, 1983). Es importante comentar que la mayoría de estas lesiones fueron clasificadas de menores. Una posible explicación de dicha diferente prevalencia puede estar relacionada con el método de adquisición de datos (Östenberg y Roos, 2000), pues esto es particularmente complicado cuando se intenta tener una buena fiabilidad de los datos obtenidos utilizando una gran muestra de sujetos y recibiendo informes mediante entrenadores e incluso jugadores.

Es importante destacar la revisión realizada por LaStayo et al (2003) sobre las acciones excéntricas en rehabilitación y prevención. Está claro que la utilización de este tipo de trabajo ya no se asocia de forma peyorativa a la aparición de daño muscular (aunque evidentemente se puede provocar sino se pautan bien las cargas a desarrollar).

La adaptación al trabajo excéntrico (disminución de los síntomas provocados por las alteraciones miofibrilares a medida que el sujeto se adapta a tal tipo de ejercicio) dentro del músculo no es muy conocida. Existen teorías al respecto, según LaStayo et al (2003), que hablan de un aumento de la compliancia del músculo mediante el aumento de sarcómeros en serie, permitiendo a la musculatura trabajar en mayores longitudes (Brockett et al, 2001). Otra de estas teorías explica que mediante la actividad excéntrica los grupos de fibras musculares más débiles son reducidos en número después de una primera sesión mientras las fibras más fuertes sobreviven y proporcionan un efecto de protección (Friden y Lieber, 2001; Armstrong et al, 1983, en LaStayo et al, 2003).

Relacionado con estos trabajos, Hortobágyi et al (1998) hablan sobre el porqué de la rápida adaptación que se produce después de un ejercicio excéntrico. Estos autores, en un análisis del VL en extensiones excéntricas de rodilla, ven una rápida recuperación de fuerza después de la finalización del ejercicio, y ésta es mediada en parte por factores neurales, así que dicha recuperación puede darse independientemente de la existencia de una disrupción celular. Además, la típica clínica producida por este tipo de actividad disminuye en intensidad después de la realización de una segunda sesión con características similares a la primera. Para intentar dar una explicación a esto, se habla de un aumento de la resistencia de las miofibrillas, de la matriz extracelular, del citoesqueleto y de las membranas celulares, proporcionando los mecanismos morfológicos necesarios para una rápida adaptación. Es interesante la idea de que esta rápida adaptación puede ser en parte mediada

neuralmente a través de una activación más completa de la población de UM asociadas con el aprendizaje de una acción.

Chen y Hsieh (2001) también han estudiado las adaptaciones al ejercicio excéntrico isocinético de elevada intensidad en los flexores de codo, y explican que tal tipo de actividad realizada en músculos dañados por sesiones previas idénticas no provocan mayor alteración ni inflamación después de la realización de la primera sesión. Brockett et al (2001) apoyan esta idea y lo han visto en la musculatura isquiotibial, y además aprecian una variación significativa del ángulo óptimo de generación de fuerza hacia mayores longitudes musculares inmediatamente después del ejercicio, indicando un aumento del componente en serie de algunas fibras musculares.

Estudios previos del grupo de LaStayo (LaStayo et al, 2000; Lindstedt et al, 2002) investigan los efectos del entrenamiento excéntrico en la rigidez musculotendinosa mediante un programa de ejercicios que aumentaba cada tres semanas hasta llegar a los 500 vatios de trabajo. Después de ocho semanas de entrenamiento encontraron un aumento del diámetro y la fuerza muscular, al igual que los sujetos experimentaron un aumento de la frecuencia de salto en el test que desarrollaban, mientras no hubo cambios en el grupo control. Estos autores afirman la existencia de un aumento de rigidez tensional muscular en respuesta al ejercicio excéntrico.

LaStayo et al (2003) también explican el rol de la titina en las miofibrillas de los vertebrados, pues esta proteína (situada desde el disco Z a la línea M del sarcómero) es la que mayor rol elástico tiene en la fibra muscular. Se piensa que esta proteína es uno de los factores que resiste la actividad excéntrica, pues el daño muscular provocado en este ejercicio releva la disminución de esta proteína en el sarcómero. Estos autores han concluido en sus estudios que la titina puede representar una contribución a las características de muelle de la estructura miotendinosa.

En esta revisión de LaStayo también se comenta la existencia de lesiones por la acción excéntrica de frenada que se producen en acciones deportivas. Si esta fuerza de desaceleración excede la capacidad del sistema miotendinoso, se puede producir una lesión localizada a nivel muscular, miotendinoso, tendinoso o bien osteotendinoso. Este tipo de lesiones son comunes a nivel isquiotibial y en los aductores de cadera.

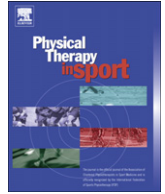
Es posible disminuir el riesgo de lesión en estos mecanismos lesivos mediante el entrenamiento excéntrico (representa mejor la acción lesiva). Se sugiere que este tipo de ejercicio previene la lesión de la unión miotendinosa mejorando su capacidad para absorber mayor cantidad de energía elástica antes de una caída.

El ejercicio excéntrico provoca un aumento de la rigidez tensional en los tendones, una mayor fuerza en la caída y un aumento de la capacidad de absorber

energía en la unión musculotendinosa. No se conoce el mecanismo exacto de esta adaptación, pero puede que se produzca un incremento del umbral de tensión potencialmente lesivo en estas estructuras, produciéndose así un efecto protector. Las adaptaciones del sistema músculo-tendón al ejercicio excéntrico también se asocian a cambios en la unión miotendinosa: aumento del tamaño (hipertrofia), de la actividad fibroblástica y de la producción de colágeno y sustancia base.

Respecto a la utilización de la sobrecarga excéntrica en relación con estructuras ligamentosas, es sabido que el mejor método para estabilizar una articulación con una lesión ligamentosa es el reclutamiento de la mayor sinergia muscular necesaria para mantener la articulación en condiciones fisiológicas. En la rodilla, la falta de LCA necesita de la activación isquiotibial para evitar la traslación anterior tibial provocada por el cuádriceps. Los isquiotibiales también son activados de forma excéntrica antes de la recepción de la marcha, en la carrera y en el salto y durante dicho contacto. De todas maneras, los sujetos con insuficiencia del LCA activan antes sus isquiotibiales que las personas sin esta lesión en la recepción del paso (citan a St Clair et al, 2000). Este mecanismo protector también puede ser visto en actividades de mayor estrés, como los cambios de dirección, paradas y recepciones.

Stanish et al (1986) también comentan la necesidad de trabajar mediante acciones excéntricas en el caso de tener una tendinosis. Actualmente existen numerosos estudios que corroboran la eficacia del trabajo de sobrecarga excéntrica en tendinopatías. Como muestra, un botón.



## Case study

## Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: A case-series study

D. Romero-Rodriguez<sup>a,\*</sup>, G. Gual<sup>a,b</sup>, P.A. Tesch<sup>c</sup><sup>a</sup>Blanquerna Faculty of Health Sciences, Universitat Ramon Llull, Barcelona, Spain<sup>b</sup>Faculty of Medicine and Health Sciences, Universitat Internacional de Catalunya, Spain<sup>c</sup>Department of Health Sciences, Mid Sweden University, Östersund, Sweden

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 25 May 2010

Received in revised form

11 October 2010

Accepted 19 October 2010

## Keywords:

Patellar tendinopathy

Eccentric

Resistance training

Inertial resistance

## ABSTRACT

*Study design:* Case-series study with pre- vs. post-test measurements design.*Background:* Strength training programs emphasizing eccentric muscle actions have received much attention in the treatment of tendinopathies. The current study reports on the efficacy of a novel strength training paradigm using inertial eccentric-concentric resistance to treat chronic patellar tendinopathy.*Case description:* Ten athletes with chronic patellar tendinopathy (15 tendons) volunteered for the study. Subjects completed a 6-week training program employing a leg press flywheel ergometer. Pre and post measurements assessed lower limb maximal strength and vertical counter-movement-jump (CMJ) height. Surface electromyography (SEMG) analysis of paraspinal, rectus femoris, biceps femoris and medial gastrocnemius muscles were collected. All measurements were performed one week before and after the training period. Clinical measures of pain and tendon function were assessed by means of a visual analogue scale (VAS) and a patellar tendinopathy questionnaire (VISA) at baseline, post-training and follow-up (12 wk). The Wilcoxon signed-rank test was employed for data comparisons.*Results:* Eccentric strength increased after training (90%,  $p < 0.05$ ). Similarly, VAS and VISA scores improved after training as well (60% and 86%, respectively,  $p < 0.01$ ). There were no changes in CMJ height.*Conclusion:* Short-term training using inertial eccentric overload, resulted in improved muscle function and reduced subjective pain in long-lasting patellar tendinopathy.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Background

Patellar tendinopathy is a frequent adverse issue in elite and recreational athletes participating in sports relying on high intensity or high volume running or hopping actions (Cook, Khan, Harcourt, Grant, Young, & Bonar, 1997; Khan et al., 1996). Its aetiology is associated with overuse leading to complaints of pain localized to the lower insertion of the patellar tendon, which typically appears during and after physical activity (Fredberg & Bolvig, 1999).

While conservative treatment of patellar tendinopathy typically comprises combinations of passive techniques, e.g., rest, ultrasound, electrotherapy (Brukner & Khan, 1993; Cook & Khan, 2001;

Ferretti, Ippolito, Mariani, & Puddu, 1983; Fredberg & Bolvig, 1999), few, if any, of these methods rest on evidence-based data. Indeed, these measures have not produced any positive effects in the treatment of chronic tendinopathy (Cook & Khan, 2001).

Strength training programs, and particularly those emphasizing eccentric muscle actions (Brockett, Morgan, & Proske, 2001; Frenette & Côté, 2000; Hortobagyi, Houmard, Fraser, Dudek, Lambert, & Tracy, 1998; LaStayo, Woolf, Lewek, Snyder-Mackler, Reich, & Lindstedt, 2003; Trappe, Carrithers, White, Lambert, Evans, & Dennis, 2002), have received much attention as potential aid in the treatment of tendinopathy. Overall, the results of past studies suggest that almost any training program employing supine or decline squats or devices offering eccentric overload (Bahr, Fossan, Løken, & Engebretsen, 2006; Cannell, Taunton, Clement, Smith, & Khan, 2001; Frohm, Halvorsen, & Thorstensson, 2005; Frohm, Saartok, Halvorsen, & Renström, 2007; Jonsson & Alfredson, 2005; Kongsgaard et al., 2009; Purdam, Jonsson, Alfredson, Lorentzon, Cook, & Khan, 2004; Rabin, 2006; Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2004; Visnes & Bahr, 2007; Young, Cook, Purdam, Kiss, & Alfredson, 2005), could

\* Corresponding author. EUSES (University School of Sport and Health), Universitat de Girona, Francesc Macia 65, 17190 Salt, Girona, Spain. Tel.: +34 972405130; fax: +34 972400781.

E-mail address: [daniel.romero@cadscrits.udg.edu](mailto:daniel.romero@cadscrits.udg.edu) (D. Romero-Rodriguez).

improve clinical status and function in patients diagnosed with chronic tendinopathy. In spite of these investigations, eccentric training has been shown to have no effect in volleyball players with patellar tendinopathy (Visnes, Hoksrud, Cook, & Bahr, 2005). Nevertheless this intervention was carried out as home program training without direct supervision of a physical therapist.

The aim of the current study was to explore the effects of a novel strength training paradigm in treating athletes with chronic patellar tendinopathy. A leg press flywheel ergometer (Berg & Tesch, 1994), allowing for coupled eccentric-concentric muscle actions with eccentric overload through inertial resistance, was used for training. The efficacy of this particular exercise modality has been validated in studies employing healthy subjects (Askling, Karlsson, & Thorstensson, 2003; Tous-Fajardo, Maldonado, Quintana, Pozzo, & Tesch, 2006), old populations (Onambélé et al., 2008) and patients recovering from knee injuries (Greenwood, Morrissey, Rutherford, & Narici, 2007) but not in highly trained athletes suffering from chronic tendinopathy. We hypothesized that a short-term, low-frequency, yet highly intense resistance exercise program, using brief episodes of eccentric overload, would improve the clinical status and muscle function in these subjects.

## 2. Case description

### 2.1. Study design

This prospective case-series study employed an intervention group of subjects to compare a battery of performance features and clinical assessments before (baseline) and after completing a six week resistance training program (pre- vs. post-test design). The sport training activities were not restricted through the intervention, although we recommended stopping them if symptoms increased. Clinical assessment measures were also obtained 6 weeks after completing the intervention (follow-up at week 12; Fig. 1). All trials, tests and training sessions were carried out at the Blanquerna Biomechanics Laboratory (Ramon Llull University), were supervised by two of the investigators (DR and/or GG). The study protocol was approved by the Ramon Llull University Ethic and Research's Committee.

### 2.2. Subjects

Ten male athletes diagnosed with either unilateral or bilateral chronic patellar tendinopathy and recruited from the greater Barcelona region, complied with the study inclusion and exclusion criteria listed in Table 1. Patellar tendinopathy was diagnosed in every case by a medical doctor, echographic study was conducted in the subjects they considered after a detailed physical examination. The volunteers were fully informed about the purpose, commitments and potential risks associated with the study before

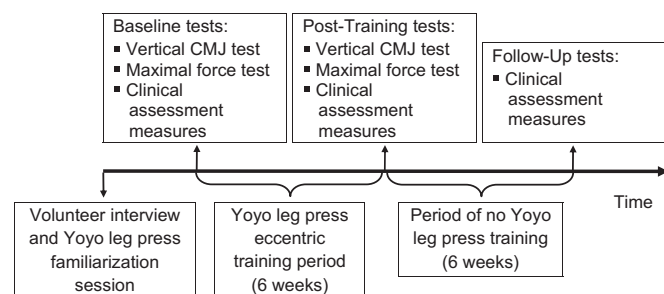


Fig. 1. Study protocol.

**Table 1**  
Inclusion and exclusion criterions.

Inclusion criteria	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Male</li> <li>■ 18–35 years old.</li> <li>■ Physically active (training/competition &gt;3 d/w).</li> <li>■ Chronic patellar tendinopathy diagnosis (lasting for a minimum period of 6 wk, uni- or bilateral).</li> </ul>
Exclusion criteria	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Other knee injuries (e.g., ligament rupture, meniscus or cartilage damage).</li> <li>■ Any knee surgery.</li> <li>■ Subjects undergoing invasive treatment or using orthotics.</li> <li>■ Other exclusion factors, e.g., systemic, cardiac and/or respiratory diseases and neuromuscular disorders (e.g., Parkinson's disease, multiple sclerosis, stroke or peripheral neuropathy).</li> </ul>

informed written consent was obtained. Age, height and body mass averaged ( $\pm$ SD)  $25 \pm 6$  yr,  $178 \pm 8$  cm and  $77.5 \pm 11$  kg. The treatment group comprised seven football (soccer) and two basketball players, and one distance runner, all competing at national level. While five of these athletes were diagnosed with unilateral tendinopathy, the remaining five displayed bilateral tendinopathy. Hence, there were 15 patellar tendons examined in the current study. When entering the study, the pain associated with the diagnosis had persisted for 31.7 (range 6–96) weeks. Knowing sport activities were not restricted, 5 out of the 10 athletes decided to continue training in their sport clubs while following the intervention process.

### 2.3. Instrumentation and procedure

Muscle strength was measured with use of a force-platform device using strain-gauge technique, attached onto the lever arm of the leg press device (Fig. 2), provided by the manufacturer (YoYo Technology AB, Stockholm, Sweden). This force gauge device summed the force from both feet acting on the platform (Berg &

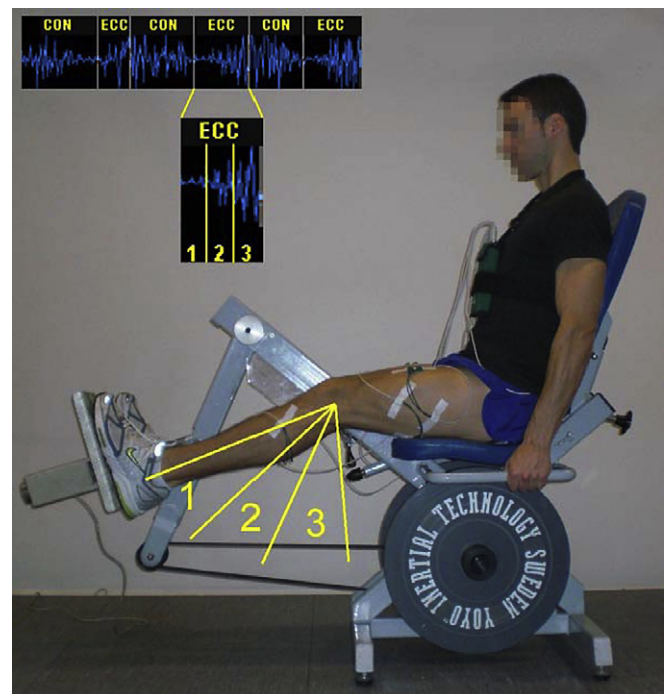


Fig. 2. Leg press machine with a schematic representation of the 3 kinematic windows and recording of SEMG activity during the maximal force test.

Tesch, 1994). The measuring system is compatible with the MuscleLab 3010 system used for force data acquisition and analysis (Ergotest, Langesund, Norway).

Surface electromyography (SEMG) activity was measured by the Noraxon TeleMyo 900 system (Noraxon, Scottsdale, Arizona, USA) at a sample frequency of 1000 Hz. The signal was rectified, filtered (high pass: 10 Hz; low pass: 500 Hz) and smoothed (100 ms) with use of Noraxon MyoResearch 2.10 software (Noraxon, Scottsdale, Arizona, USA), following the recommendations by SENIAM (Hermens et al., 1999). The root-mean-square (RMS) of the EMG amplitude was obtained from both sides of lumbar paraspinal muscles at L3 level (ES-R and ES-L), rectus femoris (RF-R and RF-L), biceps femoris (BF-R and BF-L) and medial gastrocnemius (MG-R and MG-L), according to the Cram and Kasman location (Cram & Kasman, 1998). The skin area of muscles to be examined was lightly abraded to reduce skin impedance. Anthropometric landmarks ensured identical electrode position across tests. Bipolar surface electrodes (Ambu® Blue Sensor N-00-S, Ambu A/S, Ballerup, Denmark) were placed longitudinally over the muscle belly in the fiber direction. A reference electrode was positioned over the right tibial bone.

SEMG sampling was synchronised with kinematic data collection using the ELITE Motion Analyser System (BTS Bioengineering, Milan, Italy), allowing for three-dimensional motion assessment at a frequency of 100 Hz. This kinematic analysis was performed in the Vertical counter-movement-jump (CMJ) and the Maximal force tests to differentiate the movement phases of these actions. Markers were placed either at the spinal process of L3 and the toe tip and heel of both feet (CMJ), or on the lateral malleolus (Maximal force test).

Patellar tendon pain and function were assessed by means of a visual analogue scale (VAS) (Paul-Dauphin, Guillemin, Virion, & Briçon, 1999; Price, McGrath, Rafii, & Buckingham, 1983), and the Victorian Institute of Sports Assessment (VISA) questionnaire (Visentini, Khan, Cook, Kiss, Harcourt, & Wark, 1998). Given our particular subject sample, we employed a Spanish translated version of the VISA questionnaire (Taunton, Lloyd-Smith, & Johnston, 2004). Related to VAS, the formulated question was “How much pain do you have right now?”

#### 2.4. Strength training protocol

Subjects trained two times per week with at least two days of rest between sessions (Table 2). All sessions were supervised by one of the investigators (DR or GG). Following a standardized warm-up, the subjects performed four sets of 10 maximal bilateral coupled concentric and eccentric actions on the leg press device. The first two actions of each set were aimed at accelerating the flywheel (one single flywheel with moment inertia of 0.1452 kg m<sup>2</sup>). The subsequent eight actions were performed with maximal effort,

accelerating the wheel in the concentric action and upon completion, decelerating the wheel by means of an eccentric action. The concentric phase was executed from about 90° knee angle to almost full extension about the knee joint. The flywheel strap then rewinded by virtue of the inertial force thus initiating a reversed eccentric action. Subjects were instructed to resist gently during the first two thirds of the eccentric action and then apply maximal force to bring the wheel to a stop at approximately 90°. Thus eccentric overload was achieved in the last third of any eccentric action (window 3; Fig. 2). Following completion of a full cycle, a concentric action was instantly initiated. There was a 2 min rest between sets.

#### 2.5. Evaluation tests

All test acquisitions were carried out using an identical protocol and sequence one week before (baseline) and after the 6 week training program (Fig. 1). An orientation and familiarization session, which included performance of 3 sets of 10 repetitions at moderate intensity on the leg press device, preceded baseline testing.

##### 2.5.1. Maximal voluntary contraction (MVC) test

Prior to any test, MVC was determined based on three 5 s maximal isometric actions. EMG activity was measured concurrently and the highest mean RMS EMG value recorded for each muscle in any 3 s window was considered maximal EMG activity. This approach allowed us to compare any EMG data obtained in the battery of tests performed (i.e., normalized data).

##### 2.5.2. Vertical counter-movement-jump (CMJ) test

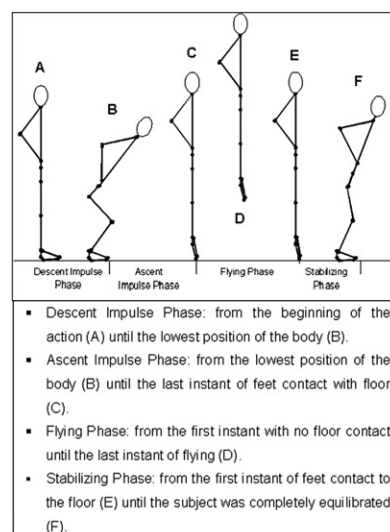
While standing on the floor with hands resting on the iliac crests, subjects were instructed to perform a maximal vertical CMJ three times. The vertical displacement of the L3 mark was used to determine jump height. All markers were used to kinematically determine RMS EMG activity in the different phases of the jump (Fig. 3). The maximal jump height and RMS EMG activity in each jump phase were data processed from the three trials.

##### 2.5.3. Maximal force test

While seated in the leg press device, subjects were instructed to execute one set of 5 bilateral actions, i.e., two submaximal actions preceded three actions with maximal effort. The malleolus

**Table 2**  
Training session.

Warm-up	<ul style="list-style-type: none"> <li>Passive stretching exercises with progressive tension for 10 s of: paraspinals, major gluteus, medial gluteus, piriformis, iliopsoas, quadriceps, adductors, hamstrings and gastrocnemius muscles.</li> <li>Aerobic exercise at 75% of the estimated Max HR: 4 min of intensity progression; 5 min at 75% and 1 min cool-down.</li> <li>Active stretching exercises with eccentric tension for 6 s of the quadriceps and hamstrings muscle groups.</li> </ul>
Training	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistance exercise using Yoyo® Leg Press: 4 sets of 10 repetitions (reps 3–10 with maximal effort) with 2 min rest between sets.</li> </ul>
Cool-down	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aerobic exercise at 60% of the estimated Max HR for 6 min.</li> <li>Passive stretching exercises with progressive tension for 20 s (see Warm-up).</li> </ul>



**Fig. 3.** Kinematic phases of vertical CMJ.



landmark was used to define the start and stop of each action. Thus, each action was divided in three periods with identical displacement of the malleolus marker, obtaining three concentric and three eccentric periods. Subjects were instructed to apply maximal effort during the whole concentric action in order to accelerate the wheel and only in the last third of the eccentric action in order to break down the wheel (period number 3, Fig. 2). The RMS EMG activity of both limbs rectus femoris muscles and the concentric and eccentric mean force were analyzed in the first third of the concentric action and in the last third of the eccentric action. This procedure was carried out for the three maximal repetitions, obtaining a mean value for concentric and another for eccentric actions.

2.5.4. Clinical assessment measures

VAS and VISA scores were collected in three different time points: the week before (baseline) and after (post-training 6 weeks) the training program, and six weeks after finishing the intervention (follow-up 12 weeks).

2.6. Statistical analysis

Data were analyzed with SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Normalized tests (Kolmogorov–Smirnov and Shapiro–Wilk) were applied to all examined variables. Given the small subject sample size and lack of normal data distribution, Wilcoxon signed-rank test was used for pre-post test comparisons (baseline vs. post-training). With regard to VAS and VISA assessments, Wilcoxon test was also applied for the post-training vs. follow-up comparisons. The level of significance was set at  $p < 0.05$ .

3. Results

3.1. Vertical counter-movement-jump (CMJ)

Maximal CMJ height did not show change in response to training; however 7 out of the 10 subjects showed increased CMJ height. RMS EMG activity of rectus femoris and erector spinae of the injured knees during the descent phase decreased after training (80%,  $p = 0.01$  and 66%  $p = 0.02$ , respectively). There were no pre-post differences in EMG activity of other studied muscles in any of the CMJ phases.

3.2. Maximal force

Maximal eccentric force increased (90%,  $p = 0.03$ ) following training. There was a trend for increased maximal concentric force (70%). For details see Table 3 and Figs. 4 and 5. Concentric RMS EMG activity of rectus femoris of the injured limb decreased (73%,  $p = 0.03$ ) after training, and there was a trend for increased eccentric RMS EMG activity of this muscle (66%).

3.3. Clinical assessment measures

Patellar tendon pain, as assessed by VAS, decreased after training (60%,  $p < 0.01$ ). Likewise, VISA questionnaire showed improved functional capacity and performance after training (86%,  $p < 0.01$ ).

Table 3  
Maximal force results.

	Post-Pre	
	Increase: Number/Total (%)	95% CI
Concentric mean force	7/10 (70)	42–98
Eccentric mean force	9/10 (90)*	71–100*

% = percentage showing increase; CI = confidence interval; \*significant change.

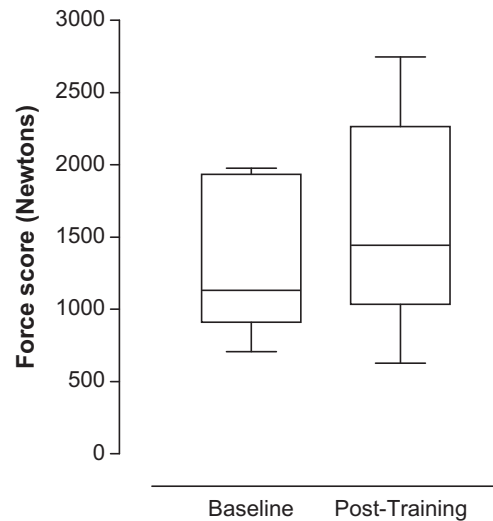


Fig. 4. Leg press concentric force (box-plot graph).

There were no further changes in VAS or VISA at the 12 week follow-up compared to post-training (Table 4; Figs. 6 and 7).

4. Discussion

The current investigation reports marked clinical improvement accompanied by increased strength and neuromuscular activation in response to eccentric overload resistance training in athletes suffering from chronic patellar tendinopathy. Albeit our findings at large support earlier reports (Bahr et al., 2006; Cannell et al., 2001; Frohm et al., 2007; Jonsson & Alfredson, 2005; Kongsgaard et al., 2009; Purdam et al., 2004; Rabin, 2006; Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2004; Visnes & Bahr, 2007; Young et al., 2005), they are novel in that these positive results were prompted by a short-term, low-frequency intervention (6 weeks; 12 exercise sessions; <24 min contractile activity), characterized by maximal effort and eccentric overload in each repetition, and employed in highly trained athletes.

While eccentric mean force increased in response to training, concentric mean force showed no significant increase. Yet, there

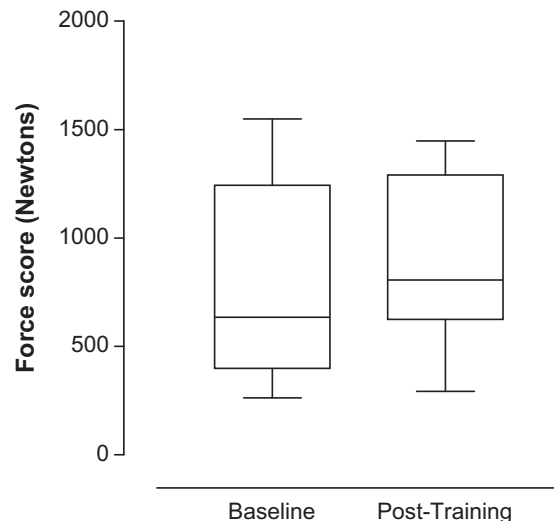


Fig. 5. Leg press eccentric force (box-plot graph).



**Table 4**  
Clinical assessment results.

	Post–Pre		Control–Post	
	Improvement: Number/Total (%)	95% CI	Improvement: Number/Total (%)	95% CI
VAS	9/15 (60)*	35–85	6/14 (43)	11–67
VISA	13/15 (87)*	64–98*	6/10 (60)	27–87

% = percentage of improvement; CI = confidence interval; \*significant change.

was an overall robust increase in muscle strength. In this context, the substantial inter-individual variation in muscle strength and subjective pain, both before and after the intervention, should be acknowledged. This is an inherent problem in any study involving subjects in pain and calling for cooperation while performing exercise at maximal voluntary effort. Hence, the statistical power required to show significant responses to any exercise intervention is typically rather substantial.

No previous study, exploring the efficacy of strength training emphasizing eccentric actions in the treatment of patellar tendinopathy, have reported EMG activity along with changes in muscle strength or function. The results of the maximal force test, assessed using the same device where subjects carried out the training, showed a correlation between the increase of rectus femoris activity and strength during the eccentric action. Even taking into account concentric action also showed a tendency to increase in strength, rectus femoris EMG activity decreased in this action. One possible explanation could be the task-specificity carried out, i.e., although the concentric action was not eliminated during the task, the investigators pointed out the need to apply all the effort in the last third of the eccentric action, thus achieving higher strength improvements in the lengthening phase comparing to the shortening one.

The rectus femoris and paraspinal muscles of the injured limb showed decreased EMG activity in the CMJ impulse phase and this was accompanied by a non-significant increase in CMJ height. Again, the increase in maximal strength, noted in the maximal force test, had no or minimal impact on performance in the more explosive CMJ task. Similarly, neither Bahr et al. (2006) nor Frohm et al. (2007) reported improved performance in the CMJ as a result of strength training involving eccentric actions. Collectively, while the benefits of eccentric training in reducing pain were substantial, it appears the associated improvements in muscle function were more subtle.

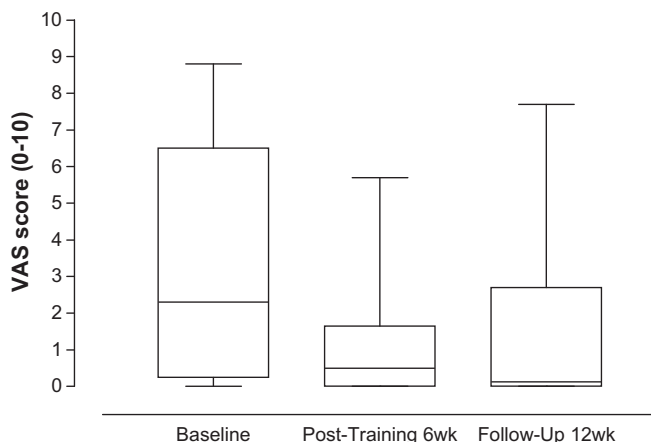


Fig. 6. Subjective pain measured by VAS (box-plot graph).

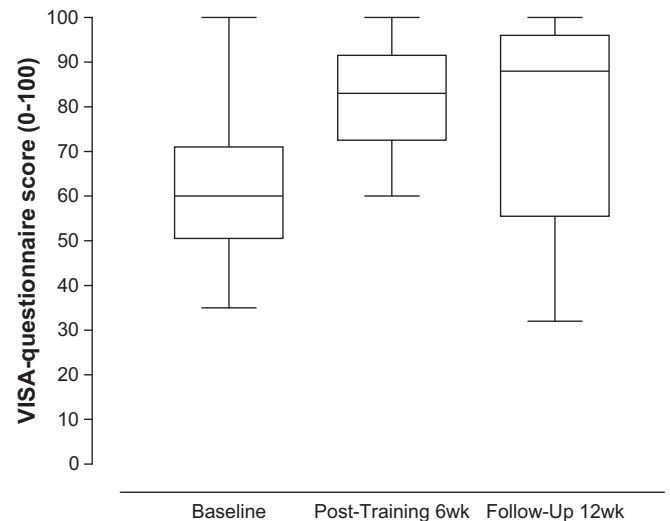


Fig. 7. Subjective pain and tendon function measured by VISA questionnaire (box-plot graph).

Signs of clinical improvement in response to resistance training comprising eccentric actions in patients diagnosed with patellar tendinopathy, were reported more than twenty years ago (Stanish, Rubinovich, & Curwin, 1986). As reviewed by Visnes and Bahr (2007), more recent work have ascribed the reduced pain associated with patellar tendinopathy to the effects of the eccentric exercise component *per se* (Cannell et al., 2001; Frohm et al., 2007; Jonsson & Alfredson, 2005; Purdam et al., 2004; Stasinopoulos & Stasinopoulos, 2004; Young et al., 2005). However, the preferred exercise paradigm or specifics of contractile activity exercise triggering this response, remains to be defined.

Albeit our study design did not allow us to compare the efficacy across studies, we believe the reported results were caused by the intervention because pain scores were not attenuated further over a 6 week period following completion of the training program. This is noteworthy given the long-lasting clinical assessment of the patients examined here (exceeding on average 30 weeks).

To our knowledge, no previous study employed inertial resistance training to produce eccentric overload actions; an approach that has shown efficacy in healthy and trained individuals (Askling et al., 2003; Tous-Fajardo et al., 2006), older men and women (Onambélé et al., 2008), and patients recovering from knee trauma or surgery (Greenwood et al., 2007). Subjects in the current study were requested to apply maximal force in the concentric action. In the subsequent eccentric action, modest effort was applied at the beginning, and eccentric overload was produced in a narrow window in the last third of the movement. At first, this approach may appear somewhat challenging in lieu of the reported negative effects of isolated concentric resistance training (Jonsson & Alfredson, 2005), obviously producing much less force and hence tendon strain in the treatment of subjects with patellar tendinopathy. If anything, the current results are commensurate with that forceful stretch-shortening actions can be tolerated and indeed reduce pain and symptoms of patellar tendinopathy.

Following this trend, Kongsgaard et al. (2009) compared corticosteroid injection vs. isolated eccentric actions and heavy slow resistance training. The last group showed better improvements and combined eccentric and concentric muscle actions, as we have registered in our own study. One of the possible reasons to explain these results is the benefits the eccentric-concentric transitions may have in the chronically degenerated tendon, a possible research topic for further studies.

The positive clinical outcomes along with the improved muscle function shown here supports the implementation of high intensity, low-frequency exercise protocols emphasizing brief episodes of eccentric overload in the treatment of chronic patellar tendinopathy in athletes. It is worth noting that no more than 12 training sessions were performed over the 6 week intervention, and less than 24 min were dedicated to muscle contractile activity.

While our results are encouraging it remains to be proven whether the efficacy of this high eccentric force, low volume and frequency intervention, is superior to other exercise strategies using greater volume and/or different eccentric exercise paradigms. On the other hand, it is important to point out the limitations of the present study. The lack of control group, even taking into account it is difficult to create one in a sport population looking to improve the functionality as fast as possible, is a major issue to bear in mind. Future studies using larger sample sizes should be designed such that the decisive stimulus (e.g., amplitude or rate of stretch, force of action, bilateral or unilateral execution) of the eccentric-concentric action (emphasizing on the eccentric phase) that triggers adaptations resulting in reduced pain in patients with chronic patellar tendinopathy, could be identified. The results of the current study suggest that resistance training by means of inertial resistance, aids in the treatment of chronic patellar tendinopathy.

#### Ethical statement

The current study protocol was approved by the Ramon Llull University Ethic's and Research's Committee.

The volunteers participating in the study were fully informed about the purpose, commitments and potential risks associated with the study before an informed written consent was obtained.

#### Conflict of interest statement

The authors declare that they have no conflict of interests.

Dr Per A. Tesch is a co-owner of YoYo Technology AB. Dr Tesch has not participated in the intervention process, nor the data acquisition and analysis of this study.

#### Acknowledgements

We acknowledge Lluís Costa for valuable advice on statistical analysis, and the Blanquerna Biomechanics Laboratory's staff for advanced technical support.

This study was supported by the Professional Catalonian Board of Physiotherapy (Barcelona, Spain).

#### References

- Askling, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine & Sciences in Sports*, 13(4), 244–250.
- Bahr, R., Fossan, B., Løken, S., & Engebretsen, L. (2006). Surgical treatment compared with eccentric training for patellar tendinopathy (Jumper's Knee). A randomized, controlled trial. *Journal of Bone and Joint Surgery, American Volume*, 88(8), 1689–1698.
- Berg, H. E., & Tesch, P. A. (1994). A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 65(8), 752–756.
- Brockett, C. L., Morgan, D. L., & Proske, U. (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(5), 783–790.
- Brukner, P., & Khan, K. M. (1993). *Clinical sports medicine*. Sydney, Australia: McGraw-Hill.
- Cannell, L. J., Taunton, J. E., Clement, D. B., Smith, C., & Khan, K. M. (2001). A randomized clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes: pilot study. *British Journal of Sports Medicine*, 35(1), 60–64.
- Cook, J. L., & Khan, K. M. (2001). What is the most appropriate treatment for patellar tendinopathy? *British Journal of Sports Medicine*, 35(5), 291–294.
- Cook, J. L., Khan, K. M., Harcourt, P. R., Grant, M., Young, D. A., & Bonar, S. F. (1997). A cross sectional study of 100 athletes with jumper's knee managed conservatively and surgically. The Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *British Journal of Sports Medicine*, 31(4), 332–336.
- Cram, J. R., & Kasman, G. S. (1998). *Introduction to surface electromyography*. Gaithersburg, MD, U.S.: Aspen Publishers Inc.
- Ferretti, A., Ippolito, E., Mariani, P., & Puddu, G. (1983). Jumper's knee. *American Journal of Sports Medicine*, 11(2), 58–62.
- Fredberg, U., & Bolvig, L. (1999). Jumper's knee: review of literature. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 9(2), 66–73.
- Frenette, J., & Côté, C. H. (2000). Modulation of structural protein content of the myotendinous junction following eccentric contractions. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 313–320.
- Frohm, A., Halvorsen, K., & Thorstensson, A. (2005). A new device for controlled eccentric overloading in training and rehabilitation. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 168–174.
- Frohm, A., Saartok, T., Halvorsen, K., & Renström, P. (2007). Eccentric treatment for patellar tendinopathy: a prospective randomised short-term pilot study of two rehabilitation protocols. *British Journal of Sports Medicine*, 41, e7.
- Greenwood, J., Morrissey, M. C., Rutherford, O. M., & Narici, M. V. (2007). Comparison of conventional resistance training and the fly-wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 697–703.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., et al. (1999). *European recommendations for surface ElectroMyoGraphy: Results of the SENIAM Project*. Enschede, The Netherlands: Roessing Research and Development.
- Hortobagyi, T., Houmar, J., Fraser, D., Dudek, R., Lambert, J., & Tracy, J. (1998). Normal forces and myofibrillar disruption after repeated eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 84(2), 492–498.
- Jonsson, P., & Alfredson, H. (2005). Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: a prospective randomised study. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 847–850.
- Khan, K. M., Bonar, F., Desmond, P. M., Cook, J. L., Young, D. A., Visentini, P. J., et al. (1996). Patellar tendinosis (jumper's knee): findings at histopathologic examination, US, and MR imaging. Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *Radiology*, 200, 821–827.
- Kongsgaard, M., Kovanen, V., Aagaard, P., Doessing, S., Hansen, P., Laursen, A. H., et al. (2009). Corticosteroid injections, eccentric decline squat training and heavy slow resistance training in patellar tendinopathy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19, 790–802.
- LaStayo, P. C., Woolf, J. M., Lewek, M. D., Snyder-Mackler, L., Reich, T., & Lindstedt, S. L. (2003). Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation and sport. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 33, 557–571.
- Onambélé, G. L., Maganaris, C. N., Mian, O. S., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I. M., et al. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanics*, 41, 3133–3138.
- Paul-Dauphin, A., Guillemin, F., Virion, J.-M., & Briançon, S. (1999). Bias and precision in visual analogue scales: a randomized controlled trial. *American Journal of Epidemiology*, 150(10), 1117–1127.
- Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A., & Buckingham, B. (1983). The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, 17, 45–56.
- Purdam, C. R., Jonsson, P., Alfredson, H., Lorentzon, R., Cook, J. L., & Khan, K. M. (2004). A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 395–397.
- Rabin, A. (2006). Is there evidence to support the use of eccentric strengthening exercises to decrease pain and increase function in patients with patellar tendinopathy? *Physical Therapy*, 86(3), 450–456.
- Stanish, W. D., Rubinovich, R. M., & Curwin, S. (1986). Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 208, 65–68.
- Stasinopoulos, D., & Stasinopoulos, I. (2004). Comparison of effects of exercise programme, pulsed ultrasound and transverse friction in the treatment of chronic patellar tendinopathy. *Clinical Rehabilitation*, 18(4), 347–352.
- Taunton, J., Lloyd-Smith, R., & Johnstone, C. (2004). Pierna. In G. S. Kolt, & L. Snyder-Mackler (Eds.), *Fisioterapia del deporte y el ejercicio* (pp. 442). Madrid, Spain: Elsevier.
- Tous-Fajardo, J., Maldonado, R. A., Quintana, J. M., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2006). The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 293–298.
- Trappe, T. A., Carrithers, J. A., White, F., Lambert, C. P., Evans, W. J., & Dennis, R. A. (2002). Titin and nebulin content in human skeletal muscle following eccentric resistance exercise. *Muscle & Nerve*, 25, 289–292.
- Visentini, P. J., Khan, K. M., Cook, J. L., Kiss, Z. S., Harcourt, P. R., & Wark, J. D. (1998). The VISA score: an index of severity of symptoms in patients with jumper's knee (patellar tendinosis). Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 1(1), 22–28.
- Visnes, H., & Bahr, R. (2007). The evolution of eccentric training as treatment for patellar tendinopathy (jumper's knee): a critical review of exercise programmes. *British Journal of Sports Medicine*, 41, 217–223.
- Visnes, H., Hoksrud, A., Cook, J., & Bahr, R. (2005). No effect of eccentric training on jumper's knee in volleyball players during the competitive season: a randomized clinical trial. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 15(4), 227–234.
- Young, M. A., Cook, J. L., Purdam, C. R., Kiss, Z. S., & Alfredson, H. (2005). Eccentric decline squat protocol offers superior results at 12 months compared with traditional eccentric protocol for patellar tendinopathy in volleyball players. *British Journal of Sports Medicine*, 39(2), 102–105.

## ENTRENAMIENTO POR MEDIO DE VIBRACIONES MECÁNICAS (Julio Tous)

En las últimas décadas han aparecido una serie de dispositivos en el mercado que reproducen las variaciones de la fuerza de la gravedad por medio de la aplicación de vibraciones mecánicas. Este sistema de entrenamiento parece provocar efectos similares al entrenamiento con ciclos de estiramiento-acortamiento aunque de una forma mucho más controlada que además garantiza la integridad del aparato locomotor.

El método de vibraciones por todo el cuerpo (WBV; Whole-body vibration) se basa en la respuesta neuromuscular a los estímulos vibratorios de forma que se activan la fibras la aferentes que están conexas a las alfa-motoneuronas (Rothmuller y Cafarelli, 1995). Así, el tejido muscular se ve sometido a una modificación de su longitud en un período muy breve de tiempo. Este rápido estiramiento favorece la estimulación del reflejo miotático, potenciando así la activación muscular.

El entrenamiento vibratorio se ha venido utilizando de forma aislada en modalidades deportivas que se caracterizan por una elevada explosividad (boxeo, saltos, velocidad, voleibol, etc...), tratando de aprovechar las ventajas que ofrece el reflejo vibratorio. Este reflejo fue descrito por Matthews (1966) y Eklund y Hagbarth (1966), quienes comprobaron que la tensión muscular se incrementaba cuando el músculo era sometido a una vibración, a lo que le dieron el nombre de Reflejo Tónico Vibratorio. Más recientemente autores como Rohmert et al (1989), Issurin et al (1994), Weber (1997) y Bosco (1998) observan que la aplicación de cargas mediante vibraciones (30-44 Hz) permite un incremento de la fuerza explosiva tanto del miembro inferior como superior, mientras que Issurin y Tenenbaum (1994), Armstrong et al (1987) y Bosco (1998) comprueban el mismo efecto sobre la fuerza máxima cuando se aplican cargas con el mismo rango de frecuencia. Entre la bibliografía disponible solo encontramos un caso de disminución de la fuerza isométrica máxima y de la fuerza máxima dinámica cuando se le aplican estímulos de vibración, aunque en este caso la frecuencia utilizada fue de sólo 20 Hz (Samuelson et al 1989)

#### 4.1.2. EFECTOS AGUDOS

##### Sistema cardiovascular

En cuanto a los efectos agudos que provoca este método, Rittweger et al (2000) encontraron, después de la aplicación de vibraciones (horizontal; ver fig. 1) con una frecuencia de 26 Hz y una amplitud de 1,05 cm (con una sobrecarga en la cintura del 40% del peso corporal en hombres y 35% en mujeres), los siguientes:

- Edema, eritema, sobre todo después de la primera sesión y particularmente en las mujeres.
- FC= 128 b/m (50% VO<sub>2</sub>max)
- [Lactato] = 3,5 mmol/l
- Presión sanguínea: 132 mmHg (diastólica) y 52 (sistólica)
- Consumo de oxígeno = 21,3 ml / min / kg
- Percepción subjetiva del esfuerzo (Escala de Borg)= 18
- Se vuelve a la normalidad en 15 min.

El ejercicio que realizaron los 40 sujetos participantes consistió en, después de mantenerse de pie durante 30 segundos, realizar sentadillas, flexionando las rodillas en ciclos de 6 segundos (3 segundos de subida y 3 de bajada) lo más suavemente posible.

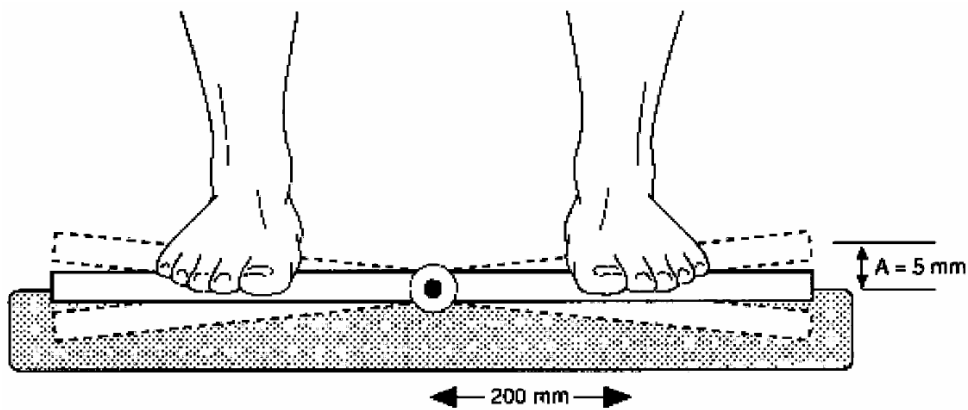


Figura 42. Aplicación de vibraciones en sentido horizontal (Rittweger et al 2001)

Más recientemente, este mismo grupo de autores han investigado el efecto que provoca la aplicación de diferentes frecuencias y amplitudes de vibración así como distintas sobrecargas externas en el consumo de oxígeno. De esta manera, encontraron un aumento lineal del  $VO_2$  con respecto al aumento de la frecuencia de vibración (18/26/34 Hz) Así, cada ciclo de vibración provocaba un aumento de  $2,5 \mu\text{l} / \text{kg}$  (manteniendo la amplitud a 5 mm) Al variar la amplitud de la vibración de 2,5 a 5 y 7,5 mm, el  $VO_2$  aumentaba más que proporcionalmente. Por último, la colocación de una sobrecarga en la cadera correspondiente a un 40% del peso corporal aumento provocó un aumento del  $VO_2$  que fue aún mayor cuando la carga se situó en los hombros. Los autores concluyen en que la potencia metabólica puede ser controlada paramétricamente mediante la frecuencia y amplitud de vibración así como la adición de sobrecargas externas (Rittweger et al, 2002).

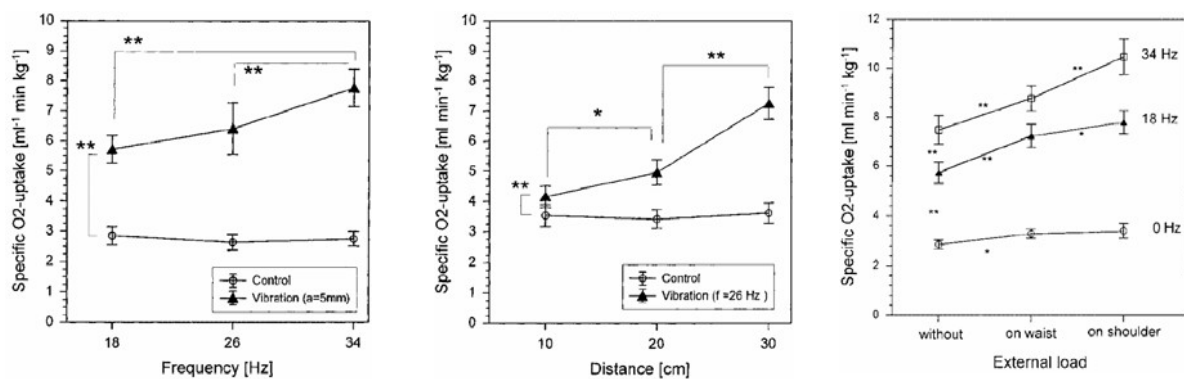


Figura 43. Efectos de la variación de la frecuencia, amplitud y sobrecarga externa en el  $VO_2$  (Rittweger et al, 2002)

Anteriormente se ha comentado la aparición de un edema en determinados sujetos como consecuencia de la aplicación de vibraciones. Incluso en el campo de la medicina del trabajo se acepta que las vibraciones de alta frecuencia provocadas por distintos utensilios industriales reducen el flujo sanguíneo (Bovenzi y Griffin, 1997, Bovenzi et al, 1999). Sin embargo, Kerschman-Schindl et al (2001) encontraron un aumento del flujo sanguíneo y ensanchamiento de capilares, después de aplicar vibraciones, lo que provocaba una mejora de la circulación periférica. Además, los autores sugieren la posible existencia de un efecto tixotrópico, de forma que la viscosidad de la sangre se ve reducida y de esta manera la velocidad media del flujo sanguíneo aumenta. Los parámetros empleados fueron 26hz, 3mm y 9 min de vibración en sentido horizontal, lejos de las altas frecuencias (superiores a 80 Hz) soportadas durante largos periodos a las que se ven sometidas los trabajadores, lo cual explica la diferencia en los resultados encontrados. Este aumento del flujo sanguíneo también fue encontrado por Rittweger et al (2000) empleando parámetros de vibración similares y por Nakamura et al (1996) empleando un vibrador en la mano con unos parámetros de 120 Hz y  $50 \text{ m/s}^2$  en el eje x. Como aplicación práctica, este aumento del flujo sanguíneo tras ser sometido a vibraciones, podría facilitar la eliminación del lactato después de realizar un esfuerzo intenso. Sin embargo, en nuestro conocimiento, no se han publicado trabajos al respecto.

### Sistema endocrino

Uno de los estudios que más sorpresa ha causado en los últimos años es el de Bosco et al (2000) indicando la respuesta hormonal como posible causa de las mejoras tan espectaculares en cuanto a fuerza explosiva encontradas en la mayoría de estudios. Estos autores encontraron un aumento de la GH de más de un 400% con respecto a los niveles basales. Además la concentración de testosterona aumentó significativamente y la de cortisol disminuyó, por lo que se establece un entorno idóneo para el anabolismo, al aumentar la relación T/C. Sin embargo, los citados grandes aumentos en la concentración de GH se producen de manera similar o superior después de realizar un trabajo intenso

con sobrecargas. Nindl et al (2000) encontraron después de realizar 6 series de 10 RM (con dos minutos de descanso) en el ejercicio de sentadilla, unos aumentos de 1,47 a 25 ng/l (hombres) y de 4 a 25,4 ng/l (mujeres) Lo mismo ocurre con la testosterona, como observó William J. Kraemer en sus numerosos estudios sobre el tema (Kraemer et al, 1990,1991, 1992) Sin embargo, es la disminución de la concentración de cortisol la que más dudas plantea, haciéndose necesaria la realización de más estudios sobre la respuesta hormonal a la aplicación de vibraciones.

### Sistema sensorial

Es conocida la función de los mecanorreceptores en la capacidad de discriminar sensaciones. Por ejemplo, la piel de la palma de la mano posee 4 tipos de receptores: dos de adaptación rápida (FAI y FAII) y dos de adaptación lenta (SAI y SAII). Todos son sensibles a la aplicación de un estímulo vibratorio en mayor o menor medida. Así, los FAI son más sensibles a vibraciones entre 30 y 40 Hz y los FAII entre 60 y 100 Hz; por otro lado, los SAI y SAII presentan una respuesta similar pero en este caso con frecuencias inferiores a los 15 Hz (Toma y Nakajima, 1995)

### Sistema neuromuscular

Influencia en la fuerza máxima dinámica, en la potencia y el salto vertical.

Bosco et al (1999<sup>a</sup>), sometió a 12 boxeadores de élite a 5 series de 60 segs (1' desc.) de vibraciones con una mancuerna (modelo Galileo 2000; Novotec, Pforzheim, Alemania) a una frecuencia de 30 Hz. y una amplitud de 6 mm. Según los autores, este entrenamiento era similar a un mes de entrenamiento realizando 50 repeticiones, 3 sesiones por semana, con una carga del 5% del peso corporal. Como consecuencia de esta única sesión de entrenamiento se encontró un aumento de la potencia de los flexores del codo sometidos a vibración además de un aumento de la señal EMGrms normalizada durante el tratamiento. Aunque en este estudio se empleó como control la extremidad contraria, falta por saber si el aumento de la potencia registrado se mantuvo en

los días posteriores, ya que dicho aumento pudo deberse a un calentamiento y circulación en la zona y no a una adaptación neural.

El mismo grupo de autores realizó un estudio similar con 6 jugadoras de voleibol altamente entrenadas que fueron sometidas a 10 series de 60 segs con 1 min de descanso (parámetros: plataforma de vibración horizontal Galileo a 26 Hz y 10mm, manteniendo una flexión de rodillas a 100°), empleando también una extremidad como control de forma que sólo una pierna es sometida a vibración. Tras la sesión, se encontró un aumento de la fuerza, velocidad y potencia medias en el ejercicio de prensa de piernas con 70, 90, 110 y 130 kgs en la pierna sometida a vibración (Bosco et al, 1999b). Según los autores, este entrenamiento de sólo 10 minutos, equivale a un estímulo de entrenamiento consistente en realizar 150 repeticiones en el ejercicio de prensa de piernas o de media sentadilla con una carga de 3 veces el peso corporal dos veces por semana durante 5 semanas. Sin embargo, no aportan los datos que les ha permitido establecer esta sorprendente equivalencia.

Similares protocolos de trabajo fueron empleados en un posterior estudio (10 series de 60 segundos con 1 min de descanso entre cada serie y 6 min de descanso después de las 5 primeras series) a 14 jóvenes deportistas de equipo (volumen de trabajo habitual: 3 sesiones de entrenamiento semanal) aunque en esta ocasión se empleó una plataforma de vibración vertical (NEMES) con una frecuencia de 26 Hz y una amplitud de 4 mm. Se detectó un aumento, después de ser sometidos a vibración, en el salto con contramovimiento y en la potencia aplicada en la prensa de piernas con una carga equivalente al 70% de 1RM. Por otro lado, se redujo la amplitud de la señal EMGrms, lo que según los autores indica una mejora en la eficiencia neuromuscular, al requerirse una menor actividad muscular para aplicar incluso una mayor potencia mecánica (Bosco, 2000).

Lieberman e Issurin (1997) comprobaron el efecto de levantar una carga del 60%, 70%, 90% y 100% de 1RM realizando una flexión dinámica de codo con o sin la aplicación de una vibración (44 Hz y 0,6-3 mm). Para ello estudiaron a 41 deportistas de diferentes niveles (Olímpico, Nacional, Junior y



Amateur), encontrando un aumento de la 1RM y una disminución de la percepción subjetiva del esfuerzo cuando se realizó el ejercicio con la aplicación de vibraciones. Además, en el grupo de mayor nivel (8 deportistas olímpicos) los efectos fueron superiores.

#### 4.1.3. EFECTOS CRÓNICOS

Los mecanismos de acción de este método a largo plazo han sido relativamente poco investigados hasta la fecha, aunque recientemente se han publicado varios trabajos al respecto. Torvinen et al (2002), estudiaron los efectos de 4 meses de entrenamiento con un protocolo de 4 sers de 60", alternando distintos movimientos. La frecuencia de estimulación osciló entre 25 y 40 Hz y la amplitud de 2 mm. Después del periodo de entrenamiento se registró un aumento de un 8,5% en CMJ y un 3,5% en la fuerza isométrico. Sin embargo, no se constató una mejora del equilibrio postural. Probablemente el escaso tiempo de estimulación sea la causa de unas mejoras tan escasas en comparación con otros estudios.

Por otro lado, el primer estudio comparado con un entrenamiento de fuerza clásico (10-20RM) es el realizado por Delecluse et al (2003). El programa incluyó los parámetros de vibración que observamos en la tabla 19.

	Start	End
Volume		
Total duration of vibration in one session (min)	3	20
Series of one exercise ( <i>N</i> )	1	3
Different knee-extensor exercises ( <i>N</i> )	2	6
Longest duration of vibration loading without rest (s)	30	60
Intensity		
Rest period between exercises (s)	60	5
Vibration amplitude (mm)	2.5	5
Vibration frequency (Hz)	35	40

The status of each variable is described at the start and at the end of the 12-wk training period.

Tabla 19. Parámetros del programa de vibraciones (Delecluse et al, 2003)

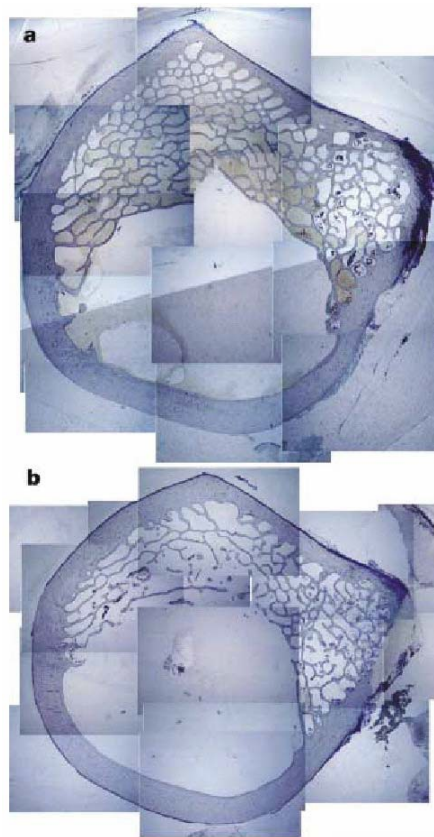
Después de 12 semanas de entrenamiento la fuerza del tren inferior aumento en igual medida que el programa de entrenamiento clásico, y sólo en el grupo que entrenó con vibraciones aumentó el salto con contramovimiento un 7,6%. En este estudio se empleó además como novedad un grupo placebo que era sometido a una vibración ineficaz; este grupo no obtuvo mejoras de ningún tipo.

El único estudio que en nuestro conocimiento haya empleado como muestra a deportistas de equipo es el de Bosco (2001) en futbolistas profesionales durante la fase de pretemporada (n= 17; 21-34 años). Se realizó 1 mes de entreno (5 sesiones semanales) con 5 sers de 60" con 60" de pausa; SQ 90°; 30 Hz; 5 mm (3,6g; equivale a DJ60). Se encontró un aumento significativo en CMJ, RJ15, RJ5 y test "seat and reach" (12 cms mejora). Sin embargo, este estudio no incluyó grupo control por lo que las mejoras pudieron deberse a otros factores no relacionados con la aplicación de vibraciones.

También en la tercera edad se han realizado aplicaciones de este método. Runge et al (2000) encontraron un aumento significativo promedio de un 18% en el test de levantarse de la silla, después de 2 meses de entrenamiento (3 días por semana; 3 series de 2 minutos) en un grupo mixto de sujetos de 67 años de media. El test de levantarse de la silla consiste en elevarse 5 veces de una silla tan rápido como sea posible sin emplear los brazos de ayuda, por lo tanto es un indicador de la potencia del tren inferior (trabajo realizado por unidad de tiempo). Los autores indican su larga experiencia con el método de entrenamiento como tratamiento en una clínica geriátrica y la exclusión de pacientes con lesiones agudas de la columna y extremidades inferiores así como en la trombosis y urolitiasis aguda.

Por otro lado, una de las grandes aplicaciones de este método es la prevención y rehabilitación de osteoporosis. El equipo de Clinton Rubin de la Universidad Estatal de Nueva York, es el que mayores aportaciones ha realizado en este campo. En una serie de interesantes estudios han encontrado que las vibraciones de alta frecuencia y baja magnitud provocan un efecto

anabólico en el tejido óseo de ovejas (Rubin et al, 2001a) y ratas (Rubin et al, 2001b; también por Flieger et al (1998))



**Table 1 Proximal-femur parameters of control and stimulated sheep**

	<i>Control</i>	<i>Experimental</i>	<i>Difference</i>	<i>P</i>
Animal mass (kg)	71.1 ± 7.1	70.3 ± 9.4	-1.1%	n.s.
Total density (gm cm <sup>-3</sup> )	466 ± 60	496 ± 53	+6.5%	<0.1
Trabecular density (gm cm <sup>-3</sup> )	169 ± 37	227 ± 56	+34.2%	<0.01
Bone volume/total volume (%)	15.2 ± 4.1	20.1 ± 4.8	+32%	<0.04
Trabecular spacing (μm)	1,170 ± 124	756 ± 97	-36%	<0.02
Trabecular number (trabeculae mm <sup>-2</sup> )	0.82 ± 0.16	1.19 ± 0.18	+45%	<0.01
Bone-formation rate (μm <sup>2</sup> mm <sup>-1</sup> )	8.4 ± 12.7	17.9 ± 16.3	+113%	<0.2
Mineralizing surface (%)	2.6 ± 0.16	6.34 ± 5.14	+144%	<0.1

Animal mass and envelope-specific bone density (determined by quantitative computer tomography) of the proximal femur after 12 months of low-level mechanical stimulation. Also shown are indices of static and dynamic histomorphometry of the proximal femur. Although 'whole-bone' parameters of the proximal femur show only a limited tendency to be influenced by mechanical stimuli ( $P=0.1$ ), the increase in treated animals compared with controls is over 30% for trabecular bone alone ( $P<0.01$ ). One control was lost over the course of study for reasons not associated with the protocol. Nine animals were evaluated in the experimental group, with eight controls. All evaluations were made without knowledge of whether the animals were control or experimental.

Figura 44. Resultados del estudio de Rubin et al (2001a). En la microfotografía puede observarse una densidad trabecular un 32% mayor en el fémur proximal de una muestra del grupo experimental (foto superior) con respecto a otra del grupo control (foto inferior)

La aplicación prolongada de altas frecuencias de vibración ha demostrado ser nociva en otros aspectos. Así, Necking et al (1996) aplicaron vibraciones a ratas a una frecuencia de 80Hz durante 5 horas diarias y 5 días consecutivos,

encontrando como respuesta una degeneración fibrilar en distintos músculos. También Bovenzi (1991) encontró que aquellos trabajadores que empleaban la sierra mecánica tenían una menor fuerza de prensión con la mano que los que no la utilizaban. Por otro lado, la aplicación prolongada de bajas frecuencias ha demostrado guardar una relación con el low back pain (Lings y Leboeuf-Yde, 2000, Bovenzi y Hulshof, 1999) Sin embargo, estudios recientes del grupo de Rittweger (2002b) han encontrado todo lo contrario en un estudio con 50 sujetos de  $51,7 \pm 5,8$  años y un historial médico de LBP crónico de  $13,1 \pm 10,0$  años. Los sujetos participantes realizaron 18 sesiones de entrenamiento durante 12 semanas, de forma que durante las primeras 6 semanas se realizaban 2 sesiones y durante las segundas sólo una sesión semanal. La amplitud de la vibración tuvo su máximo en 6mm y la frecuencia se estableció en 18 Hz; por otra parte la duración del ejercicio fue incrementándose hasta alcanzar un máximo de 7 min. A partir de la 10ª sesión se añadió una sobrecarga en los hombros de hasta un 30% del peso corporal. Después del periodo de entrenamiento se encontró una reducción de la percepción de dolor similar a la de otro grupo que entrenó con máquinas MedX y un aumento del momento flexor lumbar que en este caso fue menor que el del grupo MedX. De esta manera se concluye que la aplicación controlada de vibraciones mecánicas puede ser la cura y no la causa del LBP.

Recientemente hemos realizado estudios como el que se muestra en las figuras 45 y 46, donde una estudiante operada de rodilla (que había seguido un plan de rehabilitación clásico sin obtener resultados positivos) logró mejorar su fuerza y potencia además de reducir su déficit unilateral, después de sólo 12 sesiones de entrenamiento con vibraciones mecánicas.

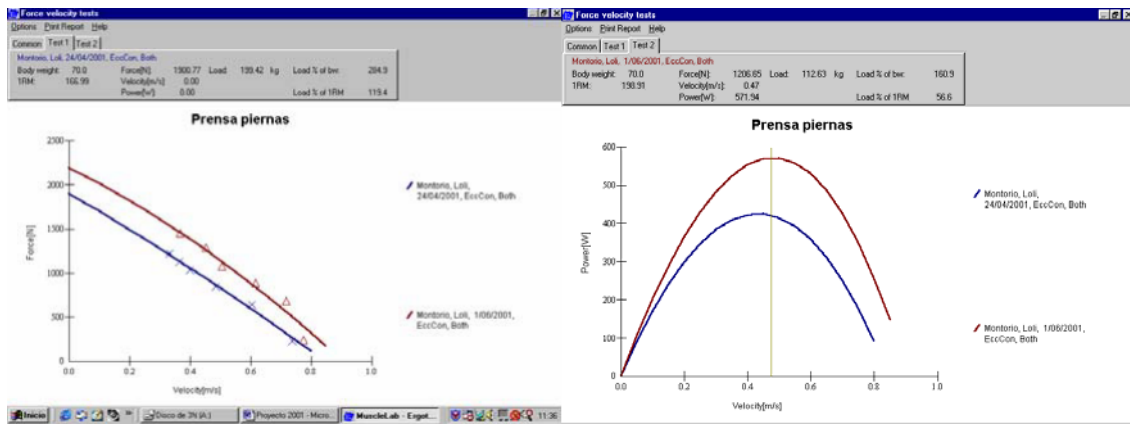
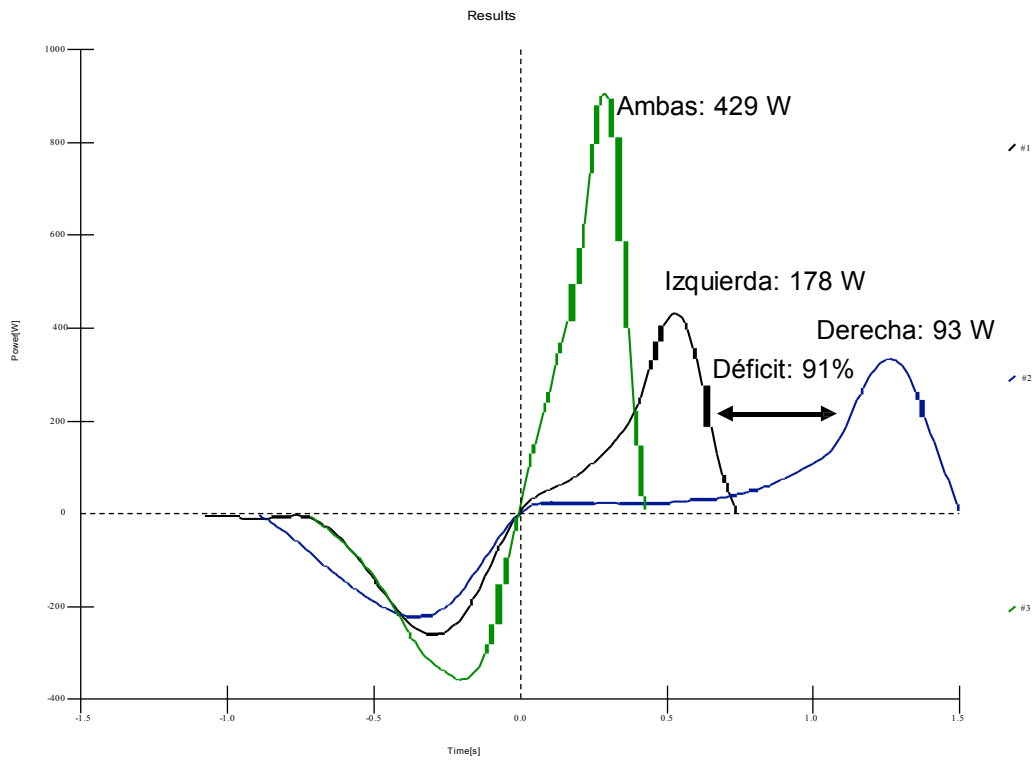


Figura 45. Efectos de la aplicación de vibraciones mecánicas en la mejoras de la curva de fuerza-velocidad y de la potencia en un sujeto operado de rodilla (Tous et al, 2001, datos sin publicar)



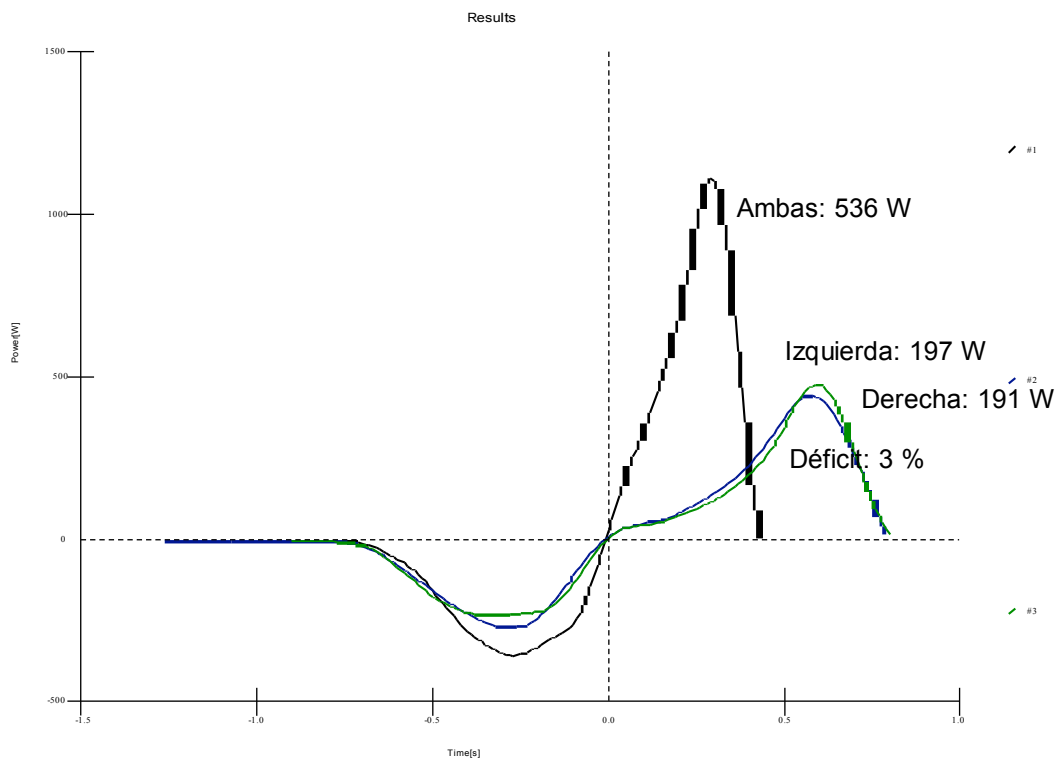


Figura 46. Efectos de la aplicación de vibraciones mecánicas en la reducción del déficit unilateral en un sujeto operado de rodilla (derecha) después de 12 sesiones de entrenamiento. La gráfica de arriba refleja una curva de potencia-tiempo con los resultados del primer test al movilizar una carga cercana al peso corporal (60 kgs); puede observarse la gran diferencia de potencia aplicada entre ambas piernas. La gráfica de abajo indica la restitución del déficit a valores normales (Tous et al, 2001, datos sin publicar)



Figura 47. Combinación de vibraciones con trabajo excéntrico mantenido

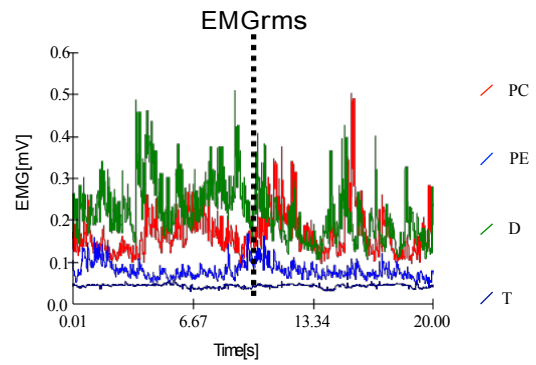
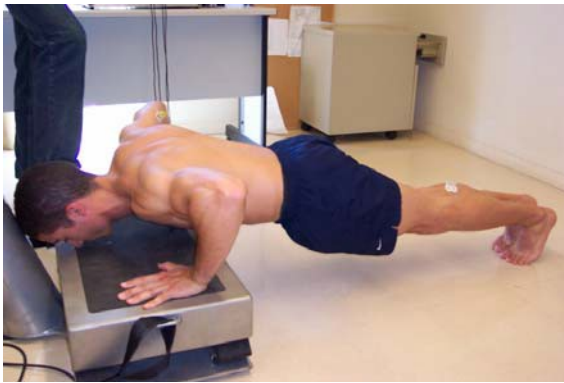
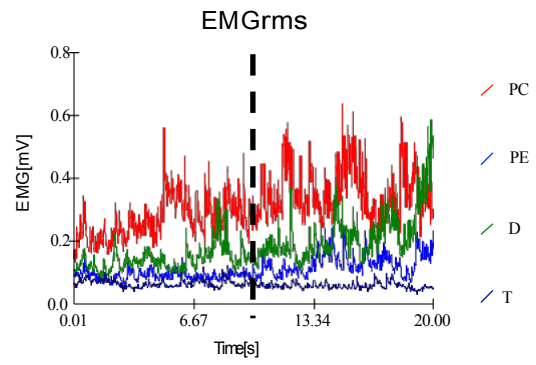
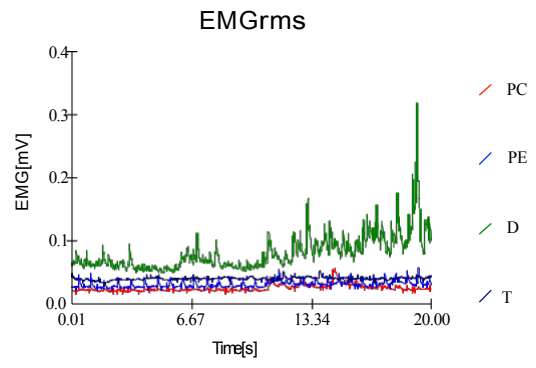


Figura 48. Ejercicios para el tren superior. Arriba se prioriza el trabajo sobre deltoides posterior, serrato y dorsal; en medio pectoral; abajo deltoides anterior y pectoral (Datos cortesía de Muñoz, 2003)

## BIBLIOGRAFÍA

ARMSTRONG, T.J., FINE, L.J., RADWIN, R.G. AND SILVERTEIN, B.S. Ergonomics and the effects of vibration in hand intensive work. *Scand J Work Env Health* 13: 286-289, 1987.

BECERRA MOTTA, J.A. and R.R. BECKER. Die wirksamkeit der biomechanischen stimulation (BMS) in verbindung mit traditionellen methoden der kraftausdauerentwicklung im schwimmsport. *Leistungssport* 31: 29-35, 2001

BECERRA MOTTA, L., BECERRA MOTTA, J.A. and R.R. BECKER. Die biomechanische stimulation beim muskeltraining. *Leistungssport* 32: 38-43, 2002.

BOSCO, C. L'effetto della vibrazione sulla forza muscolare e sul profilo ormonale in atleti. *Atleticastudi* 4-5-6: 7-14, 1998.

BOSCO, C., CARDINALE, M. AND TSARPELA, O. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* 79: 306- 311, 1999a.

BOSCO, C., CARDINALE, M., TSARPELA, O. AND LOCATELLI, E. New trends in training science: The use of vibrations for enhancing performance. *New Studies in Athletics* 14:4, 55-62, 1999b.

BOSCO, C. Adaptative responses of human skeletal muscle to vibration exercise. *Clinical Physiology* 19:183-7, 1999c

BOSCO, et al. Hormonal responses to whole-body vibration. *Eur J Appl Physiol* 81: 449-454, 2000.

BOSCO, C. et al The effect of whole body vibration on explosive power, speed endurance and extensibility of soccer players leg muscles. *Medicina Dello Sport* 54: 287-93, 2001.

BOVENZI M., ZADINI A., FRANZI NELLI A. & BORGOGNI F. Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to handarm vibration. *Ergonomics* 34: 547-562, 1991.

BOVENZI, M. and C. T. J. HULSHOF. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997) *Int Arch Occup Environ Health* 72: 351-365, 1999.

DELECLUSE, C., M. ROELANTS, and S. VERSCHUEREN. Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35: 1033-1041, 2003.

FALEMPIN, M., S. F. IN-ALBON. Influence of brief daily tendon vibration on rat soleus muscle in non-weight-bearing situation. *J Appl Physiol* 87:3-9, 1999.

FLIEGER, J., TH. KARACHALIOS, L. KHALDI, P. RAPTOU, G. LYRITIS. Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif Tissue Int* 63: 510-515, 1998.

ISSURIN, V.B. AND TENENBAUM, G.. Acute residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J Sports Sci* 17: 177- 182, 1999.

ISSURIN, V.B., LIEBERMANN, D.G. AND TENENBAUM, G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* 12: 561- 566, 1994.

IVANENKO, Y.P. Influence of leg muscle vibration on human walking. *J Neurophysiol* 84: 1737-



1747, 2000

KERSCHAN-SCHINDL K, GRAMPP S, HENK C, RESCH H, PREISINGER E, FIALKA-MOSER V, IMHOF, H. Wholebody vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol* 21: 377-82, 2001.

KÜNNEMEYER, J. and SCHMIDTBLEICHER, D. Die Rythmische neuromusculre Stimulation RNS. *Leistungsport* 27: 39- 42, 1997.

LINGS, S. AND C. LEBOEUF-YDE. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *Int Arch Occup Environ Health*, 73: 290-297, 2000.

MARTIN, B.J. and PARK, H-S. Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur J Appl Physiol* 75: 504-511, 1997.

MATTHEWS, P.B.C. The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to its tendon. *J Physiol*, 184, 450- 472, 1966

MESTER J, SPITZENFEIL P, SCHWARZER J, SEIFRIZ F. Biological reaction to vibration-implications for sport. *J Sci Med Sport* 211-26, 1999.

NAZAROV, V. Optimierung des meschen. Lobenstein: Herausberger, 1996.

NECKING L. E., LUNDSTRÖN, R., LUNDBORG G., THORNELL, L. E. and FRIDEN J. Skeletal muscle changes after short term vibration. *Scand J Plast Reconstr Hand Surg* 30: 99-103, 1996.

PADULLÉS, J.M. Nemes. Vibraciones mecánicas. *Set Voleibol* 2(7): 54-56, 2001.

RIBOT-CISCAR E, ROSSI-DURAND C, ROLL JP. Muscle spindle activity following muscle tendon vibration in man. *Neurosci Lett* 258, 147-150, 1998

RITTWEGER J, BELLER G, FELSEMBERG D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* 20: 134– 142, 2000.

RITTWEGER J, SCHIESSL H, FELSEMBERG D. Oxygen-uptake in whole body vibration exercise: Comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol* 86: 169–173, 2001

RITTWEGER, J. et al. Oxygen Uptake in Whole-Body Vibration Exercise: Influence of Vibration Frequency, Amplitude, and External Load. *Int J Sports Med* 23: 428–432, 2002.

RITTWEGER, J. et al. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise. A randomized controlled trial. *Spine* 27: 1829–1834, 2002b.

ROHMERT, W., WOS, H., NORLANDER S. AND HELBIG, R. Effects of vibration on arm shoulder muscle in three body postures. *Eur J Appl Physiol* 59: 243- 248, 1989.

RUBIN, C. and K. MCLEOD. Promotion of bony ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain. *Clin Orthop* 298:165–174, 1994.

RUBIN, C. Low mechanical signals strengthen bone loss. *Nature* 412:603-4, 2001a.

RUBIN, C., XU, G., JUDEX, S. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J.* 15, 2225–2229, 2001b.

RUBIN, C., S. TURNER, R. MULLER, E. MITTRA, K. MCLEOD, W. LIN, and Y. QIN. Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a strongly anabolic, noninvasive mechanical intervention. *J Bone Miner Res* 17:349–357, 2002a.

RUBIN, C., S. TURNER, C. MALLINCKRODT, C. JEROME, K. MCLEOD, and S. BAIN. Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone* 30:445–452, 2002b.

RUNGE, M., G. REHFELD, and E. RESNICEK. Balance training and exercise in geriatric patients. *J Musculoskel Neuron Interact* 1:61–65, 2000.

SAMUELSON, B., JORFELDT, L. AND AHLBORG, B. Influence of vibration on endurance of maximal isometric contraction. *Clin Physiol* 9: 21-25, 1989.

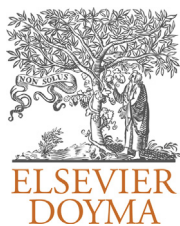
TORVINEN, S. et al. Effect of 4-min Vertical Whole Body Vibration on Muscle Performance and Body Balance: A Randomized Cross-over Study. *Int J Sports Med* 23: 374–379, 2002

TORVINEN, S. et al Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med Sci Sports Exerc*, Vol. 34, No. 9, pp. 1523–1528, 2002.

TORVINEN, S., P. KANNUS, H. SIEVANEN, et al. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging* 22:145–152, 2002.

WARMAN, G., B. HUMPHRIES AND J. PURTON. The effects of timing and application of vibration on muscular contractions. *Aviat Space Env Med* 73: 119-127, 2002.

WEBER, R. Muscle stimulation through vibration -Evaluation and first experiences- *Leistungsport*, 27 (1): ,1997.



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

[www.apunts.org](http://www.apunts.org)



## REVISIÓN

# Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas

Azahara Fort Vanmeerhaeghe<sup>a,b,\*</sup> y Daniel Romero Rodríguez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Escola Universitària de la salut i l'esport (EUSES), Universitat de Girona, Girona, España

<sup>b</sup> Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i de l'Esport Blanquerna, Universitat Ramon Llull, Barcelona, Espanya

Recibido el 21 de enero de 2013; aceptado el 14 de mayo de 2013

Disponible en Internet el 10 de julio de 2013

### PALABRAS CLAVE

Factores de riesgo;  
Lesiones deportivas;  
Prevención;  
Sistema neuromuscular

### KEYWORDS

Risk factors;  
Sports injury;  
Prevention;  
Neuromuscular system

**Resumen** La actividad física, y especialmente el deporte de competición, se encuentran continuamente bajo la influencia de una incidencia lesiva difícil de disminuir. Este artículo realiza una revisión bibliográfica sobre los diferentes factores de riesgo neuromuscular que predisponen a los deportistas a padecer una mayor incidencia lesiva, en especial en los deportes en los que predominan saltos, cambios de dirección y variaciones de velocidad (aceleraciones y desaceleraciones). La literatura científica actual destaca, entre otros, la fatiga muscular, la alteración de la magnitud y de los tiempos de activación muscular, la alteración de la capacidad de coactivación muscular, la estrategia de control de la extremidad inferior predominante en el plano frontal, los desequilibrios neuromusculares entre pierna dominante y no dominante, la inadecuada *stiffness* muscular, los déficits en el control postural, la disminución de la propiocepción, los déficits de *core* y la disminución en los mecanismos de anticipación. El análisis de estos factores de riesgo proporciona una guía práctica a la hora de diseñar tareas dentro de un plan de prevención adecuado a cada tipo de especialidad deportiva, y será útil tanto para entrenadores y preparadores físicos como para fisioterapeutas.

© 2013 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### Neuromuscular risk factors of sports injury

**Abstract** Physical activity and especially competitive sports are continuously affected by a high incidence of injury, which is difficult to reduce. This article reviews the literature on the different neuromuscular risk factors predisposing athletes to suffer a higher incidence of injury, especially in those sports where jumps, changes of direction and high speed changes (acceleration and deceleration) dominate. The current literature emphasizes the following injury risk factors related to control of the neuromuscular system: muscle fatigue, changes in the intensity and time of muscle activation, decreased muscle coactivation, increased dynamic knee valgus, inappropriate muscle stiffness, deficits in postural stability, impaired proprioception, core deficits, neuromuscular imbalances between dominant and non-dominant leg, and

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [azaharafort@gmail.com](mailto:azaharafort@gmail.com) (A. Fort Vanmeerhaeghe).

decreased feedforward mechanism. The analysis of these risk factors provides a practical guide for the design of prevention programs for each type of sport, and will be useful for coaches, physical trainers and physiotherapists.

© 2013 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Introducción

El correcto funcionamiento del complejo sistema neuromuscular ejerce un papel clave en el control de la estabilidad articular. Es importante tener en cuenta este hecho desde diferentes ámbitos relacionados con el deporte (fig. 1): aumento del rendimiento deportivo, prevención de lesiones y readaptación a la competición deportiva tras una lesión<sup>1-3</sup>.

Actualmente existen diferentes trabajos que han mostrado como el entrenamiento neuromuscular ha conseguido mejorar diferentes capacidades relacionadas con este sistema, como son la sensación de posición y movimiento articular, los patrones de activación muscular y cualidades físicas como la fuerza y el equilibrio<sup>4-7</sup>. Además, en los últimos tiempos son múltiples los trabajos que han conseguido reducir el número de algunas lesiones deportivas gracias a un entrenamiento del control neuromuscular<sup>8-10</sup>. Actualmente no existe consenso sobre qué tipo de entrenamiento neuromuscular es el más adecuado, aunque si tenemos en cuenta el principio de especificidad, cada grupo de población necesitará un tipo de entrenamiento adecuado a sus características y exigencias deportivas. Antes de diseñar cualquier programa de entrenamiento de este tipo es importante entender el concepto de control neuromuscular en su amplio significado. La figura 2 explica la estrecha relación que existe entre dicho concepto y los términos «entrenamiento», «estabilidad articular» y «sistema sensoriomotor»<sup>2,6,11</sup>.

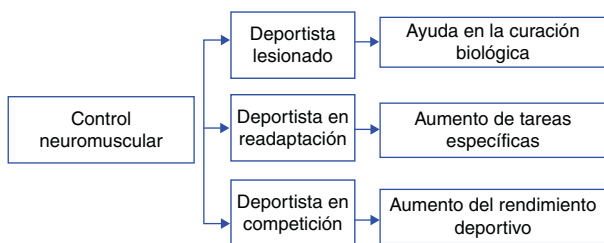
El control del sistema neuromuscular depende directamente del complejo sistema sensoriomotor. Este sistema incorpora todos los receptores y vías aferentes, el proceso de integración y de procesamiento central y las respuestas eferentes, con el objetivo de mantener la estabilidad funcional de la articulación durante los movimientos deportivos<sup>12</sup>. En relación con el proceso neurosensorial, pese a que el sistema visual y el vestibular contribuyen de manera importante en el control neuromuscular, los mecanorreceptores periféricos (especialmente los receptores musculares)

han sido descritos como las estructuras más modificables mediante el entrenamiento deportivo<sup>2,13</sup>. Esta información aferente es procesada e integrada a partir de 3 niveles de control motor (médula espinal, tronco cerebral y corteza cerebral) y se asocia a diversas áreas, como el cerebelo. En función del nivel de control motor escogido podrán darse 3 tipos de respuestas motoras: muy rápidas (respuesta refleja, médula espinal), intermedias (automáticas, tronco del encéfalo) y más lentas (más elaboradas, voluntarias, corteza cerebral). Estas respuestas vendrán reguladas por 2 mecanismos de control motor, propios de todo individuo y que pueden desarrollarse mediante el entrenamiento. Dichos mecanismos, conocidos en lengua anglosajona como *feedback* y *feedforward*, se desarrollan de manera continua a partir de las experiencias motrices<sup>2,3,13</sup>. El control *feedback* se refiere a la respuesta proporcionada bien por vía refleja o bien después del análisis de un determinado estímulo sensorial. Por otra parte, los mecanismos de control *feedforward* son descritos como las acciones de anticipación o preactivación que ocurren antes de la detección sensorial de una disrupción de la homeostasis y que se basan en experiencias anteriores.

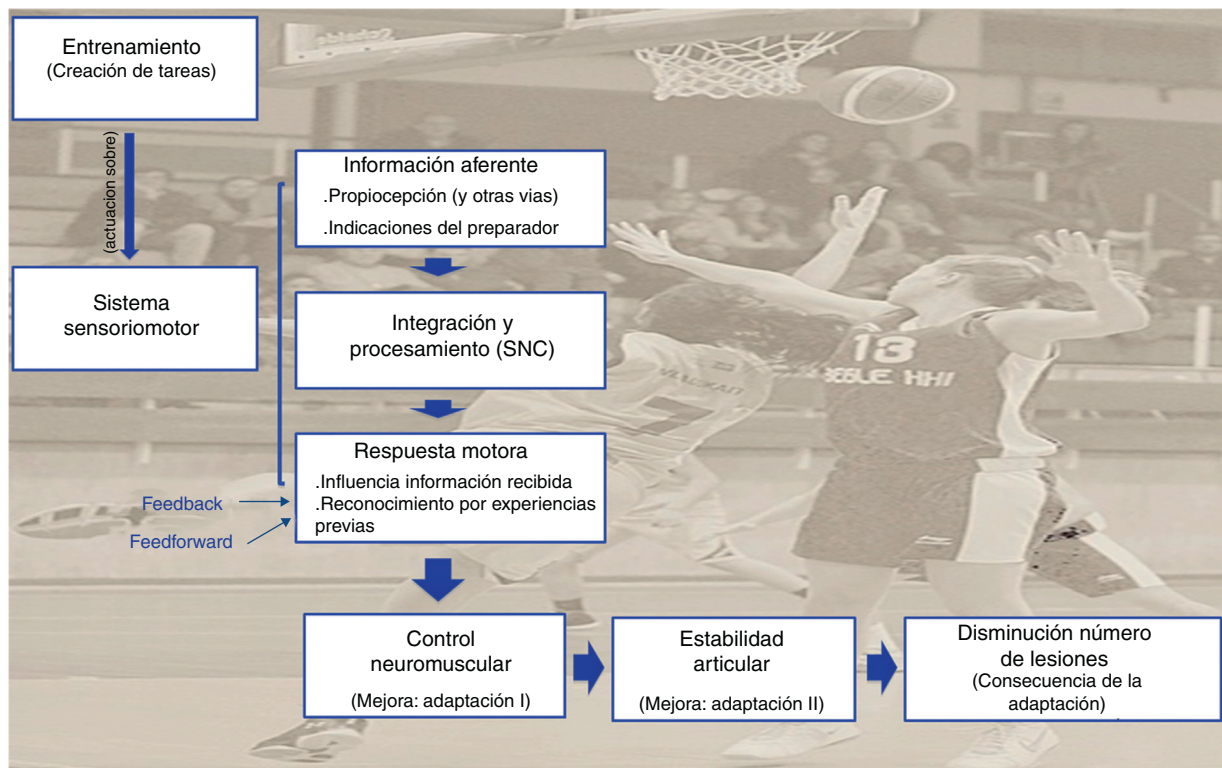
Por último, también es importante diferenciar entre el concepto de propiocepción y control neuromotor, ambos integrados dentro del sistema sensoriomotor<sup>2</sup>. A partir de las diferentes definiciones que podemos encontrar en la literatura científica<sup>1,2,13,14</sup>, en esta revisión definimos propiocepción como el tipo de sensibilidad del sistema somatosensorial que tiene como principal objetivo participar en el mantenimiento de la estabilidad dinámica de la articulación, lo que se consigue mediante la detección de las variaciones de presión, tensión y longitud de los diferentes tejidos articulares y musculares<sup>15</sup>. Por otra parte, el control neuromuscular, término central de esta revisión, se define como la activación muscular precisa que posibilita el desarrollo coordinado y eficaz de una acción<sup>15</sup>.

Con el objetivo de diseñar planes de entrenamiento neuromuscular óptimos en los diferentes ámbitos del deporte, especialmente en el de prevención y readaptación de lesiones deportivas, será de vital importancia analizar los diferentes factores de riesgo relacionados con el sistema sensoriomotor y el correcto funcionamiento del control neuromuscular.

El objetivo principal del presente estudio es realizar una revisión de la bibliografía científica actual sobre los diferentes factores de riesgo de origen neuromuscular que predisponen a los deportistas a sufrir. En especial, el texto se basa en los deportes en los que predominan las recepciones de saltos, los cambios de dirección y las situaciones de aceleración y desaceleración.



**Figura 1** Ámbitos de aplicación del entrenamiento del control neuromuscular con relación al deporte.



**Figura 2** Relación entre los conceptos de entrenamiento, sistema sensoriomotor, estabilidad articular y control neuromuscular en la prevención de lesiones.

## Material y métodos

La revisión bibliográfica se realizó principalmente en la base de datos PUBMED hasta mayo de 2012. Los principales algoritmos de búsqueda utilizados fueron: «neuromuscular risk factors AND sport», «neuromuscular risk factors AND athletes» y «sports injury risk factors». También se examinaron las listas de referencias de los artículos escogidos. Solo se incluyeron los artículos en lengua española o anglosajona.

## Incidencia lesiva y control neuromuscular

Es conocida la gran incidencia lesiva en el deporte de competición<sup>16,17</sup>. Entre algunas de las lesiones con mayor presencia podemos destacar la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) y la rotura del ligamento lateral del tobillo. Estos casos pueden asociarse a un aumento de la morbilidad en el deporte (p. ej., artrosis prematura de la rodilla) y discapacidad a largo plazo<sup>18,19</sup>. Es importante destacar que este tipo de lesiones articulares son las que más pueden beneficiarse del entrenamiento del control neuromuscular<sup>10</sup>.

Una de las clasificaciones más genéricas de los factores de riesgo de lesiones deportivas divide a estos en intrínsecos y extrínsecos<sup>16</sup>. Como factores extrínsecos se incluyen, entre otros, el equipamiento utilizado y las condiciones ambientales existentes en un entrenamiento o competición. Por otro lado, entre los factores intrínsecos podemos enumerar la edad, el sexo, la composición corporal y las características anatómicas de determinadas estructuras, aunque también se relacionan otros más vinculados a las capacidades físicas

del deportista, como pueden ser la falta de fuerza y una pobre capacidad coordinativa. Sin dejar de lado la clasificación comentada, es importante destacar, con relación a la presente revisión, que la lesión del LCA sin contacto permite clasificar los factores de riesgo en 4 categorías: ambiental, anatómica, hormonal y neuromuscular; esta última, según la bibliografía científica actual, es considerada como la más influenciada por el entrenamiento<sup>20</sup>. Dado que el origen de las lesiones deportivas es habitualmente multifactorial, la primera estrategia de prevención ha de consistir en realizar un análisis previo de todos estos factores<sup>17,21</sup>.

A continuación nos centraremos en nuestro motivo principal de estudio, el control neuromuscular, el cual depende a su vez de diversos factores de riesgo intrínsecos que pueden ser modificables con el entrenamiento, tal y como ya hemos apuntado. La lesión deportiva por mecanismo sin contacto más estudiada en la literatura científica es la rotura del LCA. Es por este motivo que nos centraremos mayoritariamente en esta lesión como ejemplo para explicar la implicación del sistema neuromuscular en la prevención de lesiones de la extremidad inferior<sup>9</sup>.

## Lesiones deportivas de la extremidad inferior: factores de riesgo neuromuscular

En la [tabla 1](#) se establece una clasificación de los principales factores de riesgo neuromuscular asociados a lesiones en el deporte.

Estos factores de riesgo neuromuscular tienen un denominador común: la alteración del patrón de movimiento



**Tabla 1** Factores neuromusculares de riesgo de lesión de la extremidad inferior

*Fatiga neuromuscular*

*Alteración de la intensidad y del tiempo de activación muscular*

Tiempo de reacción de la musculatura peroneal  
Desequilibrios en la activación de los músculos mediales y laterales de cuádriceps e isquiosurales  
Mayor activación de la musculatura cuádriceps versus la isquiosural  
Déficits en la activación muscular de la cadera  
Déficits en la estabilidad y activación muscular del tronco

*Alteración de la capacidad de coactivación muscular*

*Estrategia de control dinámico de la extremidad inferior: predominancia en el plano frontal al sagital*  
Aumento del valgo dinámico de rodilla

*Desequilibrios neuromusculares entre pierna dominante y no dominante*

*Inadecuada stiffness muscular*

*Déficits del control de la estabilidad postural*

*Alteración de la sensibilidad propioceptiva*

*Disminución de los mecanismos de anticipación o preactivación (feedforward)*

(fig. 3). El patrón de movimiento, referido a la secuencia de activación muscular utilizada para generar una acción, ha sido estudiado en deportistas para ver su posible relación con la aparición de ciertas lesiones, sobre todo en las extremidades inferiores. Este ámbito de estudio se ha focalizado especialmente para detectar posibles diferencias entre hombres y mujeres, y a pesar de que existe alguna publicación que resalta la similitud de incidencia lesiva entre géneros<sup>22</sup>, son diversos los estudios que hablan de un mayor número de lesiones en las mujeres deportistas<sup>9,23,24</sup>. De esta manera, se sabe que las lesiones articulares de rodilla y tobillo predominan en mujeres<sup>17</sup>, y más concretamente se detalla una mayor incidencia lesiva de afecciones como el dolor anterior de rodilla<sup>24</sup>, las roturas del LCA<sup>25,26</sup> y los esguinces de grado I del ligamento lateral del tobillo<sup>27</sup>.

La literatura especializada identifica las hormonas sexuales, la anatomía de la mujer y los desequilibrios neuromusculares (ejemplos son los déficits en el control postural, la propiocepción o la fuerza de la musculatura de la cadera) como principales factores intrínsecos que explican la mayor incidencia de lesiones en el sexo femenino<sup>9,23</sup>. Además, se debe tomar especial precaución en deportistas jóvenes, ya que esta población se asocia a un mayor número de lesiones del LCA, especialmente en adolescentes que practican deportes con abundantes cambios de dirección como son el fútbol, el baloncesto y el balonmano<sup>25,26,28,29</sup>. Por tanto, es especialmente importante el análisis de los factores de riesgo en la fase pubertal, ya que se dan cambios significativos a nivel anatómico y hormonal que no siempre van asociados a una mejora del control neuromuscular. De forma concreta, es importante tener en cuenta que los cambios musculoesqueléticos producidos pueden alterar la laxitud de



**Figura 3** Relación entre la alteración del patrón de movimiento con diferentes factores de riesgo neuromuscular. (Foto extraída de «masBasket».)

las estructuras articulares pasivas, provocando una disminución de la estabilidad dinámica de la articulación<sup>9</sup>.

A continuación se analizan los diferentes factores que relacionan la incidencia lesiva con la alteración de los patrones de movimiento, es decir, con la ejecución en que los deportistas organizan la programación y la ejecución de las acciones deportivas.

### Fatiga neuromuscular

La fatiga, entendida desde hace años como un proceso en el cual se produce una disminución progresiva de la capacidad de generar potencia<sup>30</sup>, provoca una alteración en la capacidad de control neuromuscular del deportista. Diversos estudios han registrado que después de un ejercicio fatigante y durante las recepciones de diferentes tipos de saltos, tanto en hombres como en mujeres, se produce un cambio en las estrategias de control neuromuscular utilizadas por estos sujetos<sup>31-34</sup>. Estas variaciones en el control motor se asocian a un mayor riesgo de lesión, tales como una menor flexión de rodilla y cadera, un aumento del valgo de rodilla, una mayor fuerza de reacción del suelo y la necesidad de un mayor tiempo de estabilización<sup>34-36</sup>.

En relación con la lesión del LCA, diferentes estudios muestran que un ejercicio fatigante puede llevar a algunas de las variaciones descritas de control motor, hecho que puede aumentar el mecanismo de cizallamiento anterior tibial y, por tanto, provocar un incremento de tensión y posible lesión del LCA, tanto en hombres como en mujeres<sup>32,33</sup>. En esta línea, Small et al.<sup>37</sup> observaron que en la fase final de una simulación de un partido de fútbol disminuía el momento pico de fuerza de la musculatura isquiosural. Según estos autores, este cambio indica una disminución de la estabilidad articular de la rodilla, provocándose una alteración en el control motor y, por tanto, un mayor riesgo de lesión articular. Simultáneamente a este hecho, estos mismos autores destacan la mayor predisposición a lesiones de esta musculatura, especialmente en acciones de sprint. Con relación a este hecho, el citado trabajo destaca el déficit de fuerza excéntrica, sobre todo después de ejercicios fatigantes, como un factor de riesgo de lesión de la musculatura isquiosural.

Además de estas variaciones relacionadas con la rodilla, es destacable el efecto del ejercicio fatigante en el tobillo, alterando la sensación de posición articular de esta estructura y la activación de la musculatura peroneal. Estos hechos pueden favorecer el riesgo de lesión de la articulación del tobillo<sup>38,39</sup>.

### Alteración de la intensidad y del tiempo de activación muscular

Existen numerosos estudios, realizados mayoritariamente mediante electromiografía, que muestran como la alteración de la magnitud y el tiempo de activación muscular durante diferentes acciones deportivas pueden predisponer a una mayor incidencia lesiva. A continuación hablaremos de algunos de los casos mayormente descritos por la bibliografía actual.

#### Tiempo de reacción de la musculatura peroneal

Es importante destacar el estudio de Menacho et al.<sup>40</sup>, los cuales realizaron una revisión sistemática con el objetivo de comparar el tiempo de reacción de la musculatura peroneal en tobillos sanos versus lesionados. Para este fin se evaluó de forma electromiográfica la reacción de la musculatura citada durante un test que consistía en la inversión repentina del tobillo. Los autores registran un mayor tiempo de reacción de la musculatura peroneal en los tobillos lesionados respecto a los tobillos sanos. Ese mismo año, otro grupo de investigadores revisó de forma sistemática los estudios que relacionaban a los diferentes componentes del sistema sensoriomotor con la inestabilidad funcional del tobillo. Estos autores concluyeron que no existe evidencia sobre la relación entre un menor tiempo de reacción de la musculatura peroneal y la inestabilidad funcional del tobillo, pese a que sí se relaciona con déficits en el control postural y la sensación de posición articular del tobillo<sup>41</sup>.

#### Desequilibrios en la activación de los músculos mediales y laterales de cuádriceps e isquiosurales

Los desequilibrios entre la parte medial y lateral de la musculatura han sido descritos como factores de riesgo de lesión, y este dato ha sido registrado especialmente en la

musculatura cuádriceps<sup>42</sup> e isquiosural<sup>43</sup>. De esta manera, Myer et al.<sup>42</sup> estudiaron el patrón de activación del cuádriceps en los resultados de riesgo de lesión del LCA en hombres y mujeres. En las posiciones de riesgo de lesión del LCA, a diferencia de los hombres, activan en mayor proporción la parte lateral del cuádriceps, estrategia de activación que contribuye al valgo dinámico de rodilla y facilita la rotura del LCA, especialmente si se asocia un predominio de activación de la parte lateral de la musculatura isquiosural<sup>25,43</sup>.

En relación con el síndrome de dolor femorrotuliano, diversos estudios muestran que una menor magnitud y un mayor tiempo de activación muscular del vasto medial respecto al vasto lateral se asocian a una mayor incidencia de este tipo de lesión<sup>24,44-46</sup>.

#### Mayor activación de la musculatura cuádriceps versus la isquiosural

Hay varios trabajos que identifican como factor de riesgo de lesión del LCA una activación excesivamente predominante del cuádriceps en las acciones de recepción del salto y/o cambios de dirección y aceleración<sup>1,20,25</sup> respecto a los isquiotibiales. La alta actividad de los cuádriceps con la menor activación de los isquiosurales, especialmente en acciones excéntricas, puede producir importantes desplazamientos anteriores de la tibia. Tal y como hemos comentado, diferentes autores demuestran que las mujeres tienden a activar preferentemente los extensores de rodilla respecto a los flexores cuando se necesita dar estabilidad articular en los movimientos deportivos<sup>1,20,47,48</sup>. Este hecho acentuará y perpetuará posibles desequilibrios y de activación de dichos músculos.

#### Déficits en la activación muscular de la cadera

Los déficits de la activación muscular de la cadera se han asociado con un mayor número de lesiones, tales como el síndrome de dolor femorrotuliano<sup>24,49</sup>, la lesión del LCA<sup>48,50</sup> y el síndrome de la cintilla iliotibial<sup>51</sup>.

Prins y Van der Wurff<sup>49</sup> realizaron una revisión sistemática sobre la relación que existe entre la debilidad de la musculatura de la cadera y el síndrome de dolor femorrotuliano en mujeres. Los autores concluyen que existe evidencia de la fuerte relación existente entre dicho síndrome y el déficit de fuerza de los músculos extensores, rotadores externos y abductores de cadera al compararse con mujeres sanas.

Además del problema existente en el aparato extensor, es destacable la mayor incidencia de lesión del LCA en el sexo femenino durante los cambios de dirección y recepciones de saltos. En estas acciones, además de producirse mayor valgo dinámico y rotación externa de la rodilla, tiene lugar una mayor aducción y rotación interna de la cadera<sup>48,50,52</sup>, y a estos hechos se añade una mayor pronación del pie<sup>48</sup>. Como ya hemos comentado, la alteración de la activación muscular proximal de la cadera se relaciona con un mayor valgo dinámico en las mujeres durante las acciones de recepción<sup>48,53</sup>. En relación al hecho anterior, Zazulak et al.<sup>48</sup> compararon los patrones de activación muscular en la recepción del salto que las mujeres disminuyen la activación del glúteo mayor y aumentan la del recto femoral durante la recepción. Esta mayor implicación del cuádriceps lleva a un aumento del deslizamiento tibial anterior, lo que puede contribuir a una

mayor predisposición del sexo femenino a sufrir una lesión de LCA por un mecanismo sin contacto.

El trabajo de Leetun et al.<sup>54</sup> también se encuentra en esta línea, y en él se observó que los deportistas que registraron menor número de lesiones de la espalda y de la extremidad inferior fueron los que presentaron mayores niveles de fuerza de los abductores y rotadores externos de cadera. Está claro, pues, que la debilidad del glúteo medio es uno de los factores que predispone al deportista a sufrir una lesión, pero es además muy importante destacar el rol tan importante que desarrolla el glúteo mayor, el cual es el principal extensor y además un rotador externo y abductor considerable en la cadera. La acción muscular excéntrica de este músculo tendrá un papel relevante en el control de la ya constatada rotación interna excesiva de la cadera de las mujeres. Además, la musculatura proximal de esta articulación, especialmente el conjunto de los glúteos, tendrá un gran papel en el posicionamiento de la extremidad inferior y en la capacidad de absorber energía durante las acciones de recepción<sup>48</sup>. Relacionado con esto último, es importante destacar el rol importantísimo de los músculos de la cadera tanto en la transferencia de la fuerza de la extremidad inferior a la pelvis y la columna como en la estabilización del tronco y de la pelvis<sup>55</sup>. Como veremos en apartados posteriores, y en relación con el déficit de la musculatura del tronco y de la pelvis, este también se asocia con un factor de riesgo de lesión de la extremidad inferior<sup>56</sup>.

### Déficits en la estabilidad y activación muscular del tronco

En los últimos años el déficit del sistema sensoriomotor de la zona, conocida con el término anglosajón *core*, se ha asociado con un mayor riesgo de lesión de las extremidades inferiores<sup>28,54,55</sup>.

El concepto de *core* como zona anatómica incluye las estructuras pasivas de la pelvis y la columna toracolumbar y la musculatura del tronco como sistema activo<sup>57</sup>. Más concretamente, Akuthota y Nadler<sup>58</sup> describen tal concepto como una caja donde se encuentra la musculatura abdominal en la parte anterior, los glúteos y los paravertebrales en la parte posterior, el diafragma como techo y la musculatura del suelo pélvico y la cintura pélvica en la zona inferior. Kibler et al.<sup>56</sup> incluyen la columna, la cadera y la pelvis como estructuras óseas y articulares, y además de la musculatura abdominal, añaden también la musculatura proximal de la extremidad inferior, hecho que destaca la importante interacción entre esta zona y las extremidades.

Actualmente no existe una definición universal del concepto de estabilidad de *core*. Kibler et al.<sup>56</sup> la definen como la habilidad para controlar la posición y el movimiento del tronco por encima de la pelvis y las extremidades inferiores. Además, tiene el objetivo de permitir la producción óptima de fuerza así como su transferencia y control a los segmentos distales que contribuyen de manera integrada en las cadenas cinéticas utilizadas en los movimientos deportivos. Leetun et al.<sup>54</sup> se refieren a la estabilidad del *core* como el producto entre el control motor y la capacidad muscular del complejo lumbar-pelvis-cadera. Este concepto enfatiza la importancia de la coordinación en adición a la fuerza y la resistencia de esta zona.

La forma mediante la cual un déficit en el control de la extremidad inferior ha sido detallada en diferentes trabajos. De esta manera se ha visto, por ejemplo, que la alteración en el control del tronco puede llevar a un aumento del valgo de rodilla, predisponiendo a esta articulación a sufrir mayores tensiones mecánicas<sup>57,59</sup>. En esta línea, Zazulak et al.<sup>57</sup> observaron que la disminución de la propiocepción y del control neuromuscular del tronco podían predecir un mayor riesgo de lesiones de la rodilla en las mujeres, aunque no registraron esta relación en los hombres estudiados. Este hecho nos enlaza con la ya comentada mayor alteración propioceptiva en mujeres en comparación con el género masculino.

Si seguimos la secuencia de razonamiento del párrafo anterior, Myer et al.<sup>28</sup> identifican el *core* corporal como un modulador crítico de la alineación de la extremidad inferior y de las cargas sufridas sobre esta durante las acciones dinámicas. De esta manera, resulta muy interesante que sugieran que un déficit de preactivación de la musculatura del tronco y de los estabilizadores de cadera puede aumentar las posiciones o movimientos laterales del tronco y llevar así a un incremento de las cargas de abducción sobre la rodilla. Está claro que aunque esta relación descrita en el plano frontal es muy plástica, no es la única que se produce, de forma que los mismos autores destacan que los déficits de control en el tronco pueden aumentar los mecanismos de lesión del LCA, especialmente en mujeres deportistas.

Según lo comentado en este punto, la suma de un déficit en el control de tronco (alteración del concepto *core*) al género femenino produce un aumento importante de la posibilidad de sufrir una lesión de la extremidad inferior. Si a estos 2 hechos sumamos una edad situada en la fase puberal, el riesgo lesivo aumenta. Esta circunstancia viene producida por la presencia de las estructuras óseas, de la altura y de la masa corporal en estas edades, y estos acontecimientos no siempre se asocian con un aumento de la fuerza y del reclutamiento de la musculatura de la cadera y del tronco. Toda esta situación puede dificultar el control del movimiento del tronco durante las acciones dinámicas, y este es uno de los hechos que se asocia con el mayor valgo dinámico observado en las mujeres adolescentes durante las acciones deportivas intensas<sup>28</sup>, tal como hemos comentado anteriormente.

### Alteración de la capacidad de coactivación muscular

La coactivación de la musculatura cuadricepsal e isquiosural puede proteger la articulación de la rodilla, y no solo contra el exceso de desplazamiento anterior tibial, sino también contra el valgo dinámico de la extremidad inferior<sup>59,60</sup>. Este efecto protector tiene lugar gracias al aumento de estabilidad articular que se produce en la activación simultánea de la musculatura agonista-antagonista alrededor de la rodilla, y es importante comprender que los déficits de fuerza y de tiempo para conseguir una activación máxima de la musculatura isquiosural limitarán la posibilidad de coactivación muscular y, por tanto, el efecto de protección comentado<sup>11,61</sup>.

Lloyd et al.<sup>62</sup> estudiaron los diferentes patrones musculares creados durante los momentos de aducción y abducción



de la rodilla en los cambios de dirección, los cuales se asocian a situaciones de alto riesgo de lesión. A pesar de que las desviaciones de la pierna en el plano frontal son tratadas de manera específica en este texto, es importante destacar que estos autores concluyeron que la estrategia neuromuscular que soporta mejor estos momentos producidos en la rodilla se consigue mediante una coactivación de la musculatura cuadrípital e isquiosural.

Según lo comentado en los 2 párrafos anteriores, hemos de entender que el efecto de coactivación alrededor de la rodilla facilita la protección de esta articulación en las acciones deportivas desarrolladas con preferencia tanto en el plano sagital como frontal.

### **Estrategia de control dinámico de la extremidad inferior: predominancia en el plano frontal respecto al sagital**

Diversas investigaciones han mostrado que las mujeres, en comparación con los hombres, tienen una peor estrategia del control dinámico de la extremidad inferior. Las deportistas tienden a priorizar un control de la extremidad inferior basado en el plano frontal, es decir, intentan absorber la posible energía lesiva propia de los apoyos y las recepciones mediante adaptaciones corporales en dicho plano (valgo dinámico de rodilla). Se sabe que esta estrategia está equivocada debido a que es ineficaz en su intención de minimizar las fuerzas de reacción del suelo<sup>1,63-65</sup>.

En esta línea, Lephart et al.<sup>50</sup> observaron que el género femenino tiene una menor capacidad de absorber las fuerzas de impacto tras el salto, lo que correlacionaron con una menor flexión y control de la rodilla en la recepción y con una debilidad de la musculatura cuadrípital e isquiosural.

Igualmente, el grupo de Wikstrom et al.<sup>65</sup> también observó que las mujeres absorbían de forma menos eficaz las fuerzas de reacción del suelo, y lo relacionaron también con una menor flexión de rodilla. A pesar de estos resultados, las mujeres obtuvieron un mejor índice de control postural dinámico en comparación con los hombres, hecho que no está directamente relacionado con la capacidad de absorción de una potencial energía lesiva.

En este sentido, Nyland et al.<sup>66</sup> estudiaron cómo los sujetos con mayor valgo o varo de rodilla en el plano frontal durante el equilibrio unipodal desarrollan diferentes estrategias neuromusculares, las cuales pueden predisponer a un mayor riesgo de lesión de la extremidad inferior.

Por último dentro de este punto, es importante destacar el trabajo de Ford et al.<sup>67</sup>, en el que se compararon las diferencias de género en los parámetros cinemáticos producidos en cambios de dirección inesperados en deportistas adolescentes. En este trabajo los autores también registraron en el género femenino un mayor incremento de los ángulos de rodilla y tobillo en el plano frontal en comparación con los chicos, hecho que podría explicar la mayor incidencia lesiva en las jóvenes deportistas.

### **Aumento del valgo dinámico de la rodilla**

Muy relacionado con el punto anterior, y en parte como consecuencia de este, es importante destacar la existencia del mencionado valgo dinámico de rodilla como una alteración

en la estrategia de control neuromuscular durante acciones deportivas. Con relación a este hecho, es importante diferenciar el llamado valgo anatómico del valgo dinámico al que nos referimos. Como muestran los resultados de McLean et al.<sup>63</sup>, los sujetos con mayor valgo anatómico detectado en una exploración estática no se correlacionan con un mayor valgo en acciones dinámicas como la salida abierta, el salto lateral o la recepción del salto unipodal. Según los resultados de este estudio, puede deducirse que el valgo funcional durante las acciones deportivas tiene más bien un origen centrado en la estrategia neuromuscular desarrollada que una justificación anatómica.

Este valgo dinámico, el cual se asocia con una estrategia de control motor en el plano frontal, podría ser secundario a una disminución de la función de los abductores de cadera<sup>53</sup>. El aumento del valgo de rodilla y rotación externa de la tibia, junto con una aducción y rotación interna de cadera, se pueden asociar tanto a lesiones agudas de rodilla (Ireland et al.<sup>68</sup>, con su concepto de «posición de no retorno») como a lesiones crónicas<sup>24,48,49</sup>.

### **Desequilibrios neuromusculares entre pierna dominante y no dominante**

Uno de los déficits de control neuromuscular que se observa frecuentemente de forma mayor en las deportistas femeninas es el desequilibrio entre las extremidades inferiores (pierna dominante-no dominante) a nivel de fuerza, coordinación y control postural<sup>69</sup>. Además, es importante tener en cuenta que estas diferencias pueden ser aún más determinantes en deportistas que han sufrido una lesión, facilitando, por ejemplo, la recidiva del LCA<sup>70</sup> o del ligamento lateral externo del tobillo<sup>71</sup>.

En línea con esto comentado, y a pesar de que el estudio de Wikstrom et al.<sup>65</sup> no registró diferencias significativas entre pierna dominante y no dominante en diferentes tests de control postural dinámico (salto vertical, salto unipodal y mantenimiento del equilibrio durante 3 s) en 40 individuos sanos de ambos sexos, son varias las referencias que remarcan tales diferencias. Entre los trabajos que destacan las diferencias entre pierna dominante y no dominante figuran los de Hewett et al.<sup>1,72</sup>, quienes observaron que la pierna no dominante suele tener una musculatura más débil y con menos coordinación que la dominante, especialmente en el sexo femenino y en las tareas de recepción, pivotaje y desaceleración en el salto unipodal. En esta línea, Ross et al.<sup>64</sup> estudiaron las diferencias de fuerza, equilibrio y rango de movimiento de la flexión de rodilla entre pierna dominante y no dominante durante la recepción unipodal en 30 individuos de ambos sexos físicamente activos. A pesar de no encontrar diferencias significativas en el tiempo de estabilización de la recepción del salto entre ambas piernas, los autores concluyeron que la absorción de las fuerzas de reacción del suelo, el equilibrio y la fuerza muscular fueron superiores en la pierna dominante. Otro de los trabajos que muestran esta tendencia resulta de una comparación de pierna dominante-no dominante en un grupo de 20 hombres y mujeres físicamente activos<sup>73</sup>. Pese a no encontrar diferencias significativas en las pruebas de equilibrio unipodal con ojos abiertos y cerrados y en la recepción del salto unipodal, sí se mostraron tales diferencias cuando se

comparó por separado el grupo de mujeres, mostrándose un menor control del centro de presiones en la recepción del salto en la pierna no dominante respecto a la dominante.

Estos hechos nos llevan a poder pensar que las acciones de recepción del salto y equilibrio monopodal realizadas con la extremidad no dominante pueden facilitar la existencia de un mayor número de lesiones.

### Inadecuada *stiffness* muscular

El concepto de *stiffness*, entendida como la capacidad biomecánica del músculo de oponerse al estiramiento y contraria a la complianza<sup>74</sup>, juega un rol muy importante en la capacidad de generar fuerza explosiva. Son varios los estudios que muestran que los hombres tienen una mejor *stiffness* muscular en comparación con las mujeres en las actividades que requieren cambios de dirección y las perturbaciones del equilibrio<sup>75-78</sup>.

Esta propiedad, cuando la relacionamos únicamente con la activación de la musculatura periarticular, es un importante componente para la estabilidad de la articulación<sup>77,79</sup>. Este concepto, al que nos podemos referir como *stiffness* activa y que es proporcional a la activación mioeléctrica y a la fuerza generada por el músculo<sup>75</sup>, es importante diferenciarlo de la *stiffness* muscular pasiva, la cual viene dada por la capacidad elástica del conjunto muscular. Dado su componente estabilizador en la articulación, la menor *stiffness* muscular de las mujeres podría aumentar el riesgo de lesión, especialmente cuando añadimos la mayor laxitud articular del género femenino, factor que también suele relacionarse con un mayor riesgo lesivo<sup>80,81</sup>.

A pesar de que esta menor *stiffness* existente en las deportistas es un factor de riesgo de lesión, existen autores que explican que el reclutamiento neuromotor puede ser utilizado para contrarrestar dicha limitación durante las actividades deportivas, mejorando de esta manera la estabilidad articular<sup>76</sup>.

### Déficits del control de la estabilidad postural

El déficit en el control de la posición del centro de gravedad ha sido descrito como un importante factor de riesgo de lesión de la extremidad inferior. Este hecho se explica si consideramos que el aumento de fluctuación de dicho centro se asocia con una falta de capacidad de estabilización corporal, lo que se relaciona con una alteración en la estrategia de control neuromuscular.

A pesar de que existen algunos trabajos que no relacionan la disminución del control postural con un mayor número de lesiones traumáticas<sup>82,83</sup>, es mayor en número la bibliografía que sí relaciona estos 2 acontecimientos, especialmente en el caso del esguince de tobillo<sup>84</sup>. De esta manera, y teniendo en cuenta que la falta de estabilidad aumenta las fuerzas que se transmiten a las estructuras articulares y musculares<sup>85-88</sup>, se ha visto una relación significativa entre la existencia de lesiones previas y la disminución de la estabilidad postural<sup>70,89-93</sup>. Paterno et al.<sup>70</sup> estudiaron la relación entre déficits en el sistema neuromuscular y el riesgo de sufrir una segunda lesión del LCA en 53 jóvenes deportistas. Pasado un año de la lesión, 13 de los jóvenes estudiados volvieron a romperse el mismo LCA. Los autores relacionan esta

recidiva de la lesión con una menor estabilidad postural de la pierna afectada y un menor control de las articulaciones de la rodilla y la cadera durante un *drop jump*.

A estos datos también se suman diferentes trabajos que han registrado una relación entre una estabilidad postural disminuida y un mayor riesgo de sufrir lesiones deportivas<sup>92,94,95</sup>. De igual manera, Plisky et al.<sup>95</sup> estudiaron la relación entre los resultados obtenidos mediante un test de equilibrio unipodal dinámico (*Star Excursion Balance Test* [SEBT]) y la incidencia lesiva de la extremidad inferior en 235 jugadores jóvenes de baloncesto. Los resultados indicaron que los jugadores que tenían una diferencia superior a 4 cm entre piernas en la distancia alcanzada de forma anterior tenían 2,5 veces un mayor riesgo de sufrir una lesión de la extremidad inferior.

Es importante destacar que los test utilizados para valorar el equilibrio entre los diferentes trabajos, ya sea de manera estática o dinámica, son muy variables, hecho que podría explicar los diferentes resultados obtenidos entre estudios.

### Alteración de la sensibilidad propioceptiva

Aun teniendo presente que una alteración propioceptiva se puede mostrar de multitud de maneras en una articulación como la rodilla, el ejemplo más comúnmente desarrollado es el de explicar el déficit propioceptivo del LCA ante su puesta en tensión<sup>11</sup>, haciendo que la musculatura isquiosural no actúe para proteger de manera correcta la rodilla y más concretamente dicho ligamento.

Teniendo en cuenta la idea comentada en el párrafo anterior, Hewett et al.<sup>5</sup> estudiaron las diferencias de género en el control de la estabilidad unipodal en sujetos sanos, llegando a la conclusión de una menor capacidad de estabilización en las mujeres en comparación con los hombres estudiados. Por el contrario, cuando estos autores estudiaban a deportistas con un déficit del LCA, los hombres tenían mayor estabilidad en comparación con las mujeres en los tests preoperatorios realizados. Una vez realizada la reparación quirúrgica del ligamento, los hombres seguían teniendo mayor estabilidad a los 6, 9 y 12 meses. Los autores sugieren que este hecho se puede asociar con una disminución más acentuada en el sexo femenino de la sensibilidad propioceptiva del LCA lesionado.

En otro estudio, Rozzi et al.<sup>43</sup> valoraron la laxitud articular, la propiocepción, el equilibrio y el tiempo necesario para conseguir la tensión máxima muscular en 34 hombres y mujeres deportistas, así como su patrón de activación muscular en diferentes pruebas realizadas. Los resultados mostraron que, en comparación con los hombres, las mujeres deportistas tenían mayor laxitud articular y necesitaban más tiempo para detectar cambios en la posición articular (peor propiocepción), a pesar de tener mayor capacidad para mantener el apoyo monopodal, lo que denota mejor equilibrio. Es evidente que la mayor capacidad para mantener una posición no es sinónimo de poder actuar rápidamente ante una pérdida de equilibrio, y es importante tener en cuenta que, especialmente en deportes de situación, las pérdidas de equilibrio son constantes.

También es interesante destacar el grupo de Roberts et al.<sup>14,96</sup>, el cual observó que las rodillas post-intervención del LCA tenían un mayor umbral de detección del

movimiento pasivo de extensión de la rodilla (prueba utilizada para valorar la propiocepción) en comparación con las rodillas no operadas. Este hecho, que denota un retardo en la capacidad de estar tensión en el ligamento, está relacionado con un mayor riesgo de recidiva<sup>17</sup>.

### Disminución de los mecanismos de anticipación (*feedforward*)

A todos los conceptos a los que nos hemos ido refiriendo y que están relacionados, de una forma genérica, con el control neuromuscular, hemos de añadir 2 nuevos mecanismos que influyen en el control dinámico de la articulación, y que en lengua anglosajona son conocidos como *feedback* (vía refleja) y *feedforward* (anticipación, preactivación)<sup>3,13,15,97,98</sup>.

En relación con el llamado *feedback*, hemos de tener en cuenta que se trata de un estímulo sensorial al que, frecuentemente de manera refleja, responde la musculatura. Pero en acciones deportivas de máxima velocidad, especialmente en las propias de los deportes de situación que se van sucediendo de manera continua y con una marcada variabilidad, tal mecanismo tiene una limitada eficacia en su intención de proteger el organismo de sufrir una lesión. Además de su relativa lentitud para poder evitar el efecto de un mecanismo lesivo, el *feedback* puede verse afectado de manera importante por la instauración de fatiga, aumentando el retraso electromecánico de la musculatura esquelética y llevando a una disminución de la protección articular que esta desarrolla. Por otra parte, el mecanismo de *feedback* sí es adecuado para el mantenimiento de la postura y acciones desarrolladas más lentamente.

Por otra parte, el mecanismo de control *feedforward* es descrito con la capacidad de anticipación de un sujeto sin que se produzca el registro sensorial que provoca una respuesta refleja (*feedback*), sino que se basa en la identificación de una situación que el sujeto relaciona con experiencias anteriores. De esta manera, la preactivación muscular que se consigue tiene la capacidad de proteger las estructuras del aparato locomotor de una carga lesiva. Esta preparación del sistema musculoesquelético llegará a producirse gracias a la experiencia comentada de situaciones deportivas vividas, y facilitará el continuo aprendizaje de las mismas y que son previas (con un espacio de tiempo mínimo) a la presentación de cargas lesivas.

Actualmente existen varias publicaciones que indican la importancia de los movimientos de anticipación a la hora de minimizar las perturbaciones y el mantenimiento de una correcta postura. Besier et al.<sup>97,98</sup> observaron cómo se duplicaron los momentos de valgo/varo y rotación interna/externa aplicados sobre la rodilla durante los cambios de dirección inesperados en comparación con las situaciones pre-planeadas. Estos autores explican que la ejecución de cambios de dirección sin una adecuada planificación puede aumentar el riesgo de lesión del LCA, probablemente como consecuencia del menor tiempo para establecer las estrategias de control neuromuscular más adecuadas en su intención de proteger la articulación. En consecuencia, estos mismos investigadores sugieren la necesidad de incluir tareas en las que se contemplan cambios de dirección inesperados en los entrenamientos. En la misma

línea, McLean et al.<sup>99</sup> observaron que durante los cambios de dirección en los que se incluyó a un oponente defensor aumentaron los momentos de fuerza aplicados sobre la rodilla en ambos sexos. Este último trabajo nos ha de hacer reflexionar sobre la necesidad de incluir tareas con estímulos inesperados y de oposición en la programación del entrenamiento de los llamados deportes de situación.

### Conclusiones y aplicaciones prácticas

La bibliografía científica actual describe diferentes factores de riesgo de lesión relacionados con el control del sistema neuromuscular. Entre estos destacan la fatiga muscular, la alteración de la magnitud y de los tiempos de activación muscular, la alteración de la capacidad de coactivación muscular, la estrategia de control de la extremidad inferior predominante en el plano frontal, los desequilibrios neuromusculares entre pierna dominante y no dominante, la inadecuada *stiffness* muscular, los déficits en el control postural, la disminución de la propiocepción, los déficits de *core* y la disminución en los mecanismos de anticipación.

El análisis de estos factores de riesgo proporciona una guía práctica a la hora de diseñar tareas dentro de un plan de prevención adecuado a cada tipo de especialidad deportiva, y será útil tanto para entrenadores y preparadores físicos como para fisioterapeutas.

Actualmente sabemos que los factores de riesgo neuromuscular son modificables mediante el entrenamiento. Pese a que los métodos óptimos de entrenamiento para cada grupo de población aún no han sido establecidos, existen evidencias sobre el éxito de este tipo de intervenciones en la prevención, el tratamiento y la vuelta a la competición deportiva de ciertos tipos de lesiones de la extremidad inferior. Como premisa para progresar en la dificultad y en la intensidad de los ejercicios que incluyen este tipo de entrenamiento deberíamos poner énfasis en la correcta biomecánica de la extremidad inferior, evitando o disminuyendo de esta forma las altas cargas a las que se ven sometidas las articulaciones durante las diferentes actividades deportivas. Para poder conseguir este objetivo es muy importante tener la capacidad de diseñar tareas adecuadas en cada caso, analizando su ejecución con los deportistas y dando las indicaciones adecuadas en cada momento. Podemos considerar esta premisa como la base para poder conseguir adaptaciones positivas con la intención de mejorar el control neuromuscular.

Por último, destacar la importancia de la valoración mediante instrumentos válidos y fiables con el objetivo de identificar los diferentes factores de riesgo neuromuscular citados en esta revisión.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Bibliografía

1. Hewett TE, Paterno MV, Myer GD. Strategies for enhancing proprioception and neuromuscular control of the knee. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;402:76–94.

2. Lephart SM, Fu FH. Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000.
3. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system. Part I. The physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train.* 2002;37:71-9.
4. Eils E, Rosenbaum D. A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1991-8.
5. Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1999;27:699-706.
6. Lloyd DG. Rationale for training programs to reduce anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31:645-54.
7. Panics G, Tallay A, Pavlik A, Berkes I. Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. *Br J Sports Med.* 2008;42:472-6.
8. Herman K, Barton C, Malliaras P, Morrissey D. The effectiveness of neuromuscular warm-up strategies, that require no additional equipment, for preventing lower limb injuries during sports participation a systematic review. *BMC Med.* 2012;10:75.
9. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes. Part 2. A meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med.* 2006;34:490-8.
10. Hübster M, Zech A, Pfeifer K, Hänsel F, Vogt L, Banzer W. Neuromuscular training for sports injury prevention. A systematic review. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:413-21.
11. Solomonow M, Krogsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports.* 2001;11:64-80.
12. Fort Vanmeerhaeghe A, Romero Rodriguez D. Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apuntes Med Esport.* 2013, en prensa.
13. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system. Part II. The role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train.* 2002;37:80-4.
14. Roberts D. *Sensory Aspects of Knee Injuries.* Sweden: Lund University; 2003.
15. Fort Vanmeerhaeghe A. Valoració i entrenament del control neuromuscular per a la millora del rendiment esportiu. Barcelona: FPCEE. Blanquerna. Universitat Ramon Llull; 2010.
16. Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *Br J Sports Med.* 2003;37:384-92.
17. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med.* 2005;39:324-9.
18. Adirim TA, Cheng TL. Overview of injuries in the young athlete. *Sports Med.* 2003;33:75-81.
19. Myklebust G, Bahr R. Return to play guidelines after anterior cruciate ligament surgery. *Br J Sports Med.* 2005;39:127-31.
20. Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, Bahr R, Beynon BD, Demaio M, et al. Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. *Am J Sports Med.* 2006;34:1512-32.
21. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1. Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17:705-29.
22. Ericksen H, Gribble PA. Sex differences, hormone fluctuations, ankle stability, and dynamic postural control. *J Athl Train.* 2012;47:143-8.
23. Dugan SA. Sports-related knee injuries in female athletes what gives? *Am J Phys Med Rehabil.* 2005;84:122-30.
24. Fagan V, Delahunt E. Patellofemoral pain syndrome a review on the associated neuromuscular deficits and current treatment options. *Br J Sports Med.* 2008;42:489-95.
25. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes. Part 1. Mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med.* 2006;34:299-311.
26. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, Skjølberg A, Olsen OE, Bahr R. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players. A prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med.* 2003;13:71-8.
27. Hosea TM, Carey CC, Harrer MF. The gender issue epidemiology of ankle injuries in athletes who participate in basketball. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;372:45-9.
28. Myer GD, Chu DA, Brent JL, Hewett TE. Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. *Clin Sports Med.* 2008;27:425-48.
29. Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, Myer GD. Understanding and preventing ACL injuries update biomechanical and epidemiological considerations — Update 2010. *N Am J Sports Phys Ther.* 2010;5:234-51.
30. Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue what, why and how it influences muscle function. *J Physiol.* 2008;586:11-23.
31. Borotikar BS, Newcomer R, Koppes R, McLean SG. Combined effects of fatigue and decision making on female lower limb landing postures central and peripheral contributions to ACL injury risk. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23:81-92.
32. Chappell JD, Herman DC, Knight BS, Kirkendall DT, Garrett WE, Yu B. Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. *Am J Sports Med.* 2005;33:1022-9.
33. Kernozek TW, Torry MR, Iwasaki M. Gender differences in lower extremity landing mechanics caused by neuromuscular fatigue. *Am J Sports Med.* 2008;36:554-65.
34. McLean SG, Fellin RE, Suedekum N, Calabrese G, Passerallo A, Joy S. Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:502-14.
35. Brazaten DM, Todd MK, Ambegaonkar JP, Wucherlich R, Peterson C. The effect of fatigue on landing biomechanics in single-leg drop landings. *Clin J Sport Med.* 2010;20:286-92.
36. Ortiz A, Olson S, Trudelle-Jackson E, Rosario M, Venegas HL. Landing mechanics during side hopping and crossover hopping maneuvers in noninjured women and women with anterior cruciate ligament reconstruction. *PM & R.* 2011;3:13-20.
37. Small K, McNaughton LR, Greig M, Lohkamp M, Lovell R. Soccer fatigue, sprinting and hamstring injury risk. *Int J Sports Med.* 2009;30:573-8.
38. Forestier N, Teasdale N, Nougier V. Alteration of the position sense at the ankle induced by muscular fatigue in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:117-22.
39. Mohammadi F, Roozdar A. Effects of fatigue due to contraction of evertor muscles on the ankle joint position sense in male soccer players. *Am J Sports Med.* 2010;38:824-8.
40. Menacho MO, Pereira HM, Oliveira BI, Chagas LM, Toyohara MT, Cardoso JR. The peroneus reaction time during sudden inversion test systematic review. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20:559-65.
41. Munn J, Sullivan SJ, Schneiders AG. Evidence of sensorimotor deficits in functional ankle instability. A systematic review with meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2010;13:2-12.
42. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15:181-9.
43. Rozzi SL, Lephart SM, Gear WS, Fu FH. Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *Am J Sports Med.* 1999;27:312-9.
44. Neptune RR, Wright IC, van den Bogert AJ. The influence of orthotic devices and vastus medialis strength and timing on



- patellofemoral loads during running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2000;15:611–8.
45. Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, Crossley KM, McConnell J. Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82:183–9.
  46. Cowan SM, Bennell KL, Crossley KM, Hodges PW, McConnell J. Physical therapy alters recruitment of the vasti in patellofemoral pain syndrome. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:1879–85.
  47. Hanson AM, Padua DA, Troy BJ, Prentice WE, Hirth CJ. Muscle activation during side-step cutting maneuvers in male and female soccer athletes. *J Athl Train*. 2008;43:133–43.
  48. Zazulak BT, Ponce PL, Straub SJ, Medvecky MJ, Avedisian L, Hewett TE. Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2005;35:292–9.
  49. Prins MR, van der Wurff P. Females with patellofemoral pain syndrome have weak hip muscles a systematic review. *Aust J Physiother*. 2009;55:9–15.
  50. Fredericson SM, Ferris CM, Riemann BL, Myers JB, Fu FH. Gender differences in strength and lower extremity kinematics during landing. *Clin Orthop Relat Res*. 2002;401:162–9.
  51. Fredericson M, Cookingham CL, Chaudhari AM, Dowdell BC, Oestreicher N, Sahrnann SA. Hip abductor weakness in distance runners with iliotibial band syndrome. *Clin J Sport Med*. 2000;10:169–75.
  52. Imwalle LE, Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers. A possible link to noncontact anterior cruciate ligament injury and prevention. *J Strength Cond Res*. 2009;23:2223–30.
  53. Jacobs CA, Uhl TL, Mattacola CG, Shapiro R, Rayens WS. Hip abductor function and lower extremity landing kinematics sex differences. *J Athl Train*. 2007;42:76–83.
  54. Leetun DT, Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT, Davis IM. Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36:926–34.
  55. Borghuis J, Hof AL, Lemmink KA. The importance of sensory-motor control in providing core stability implications for measurement and training. *Sports Med*. 2008;38:893–916.
  56. Kibler WB, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med*. 2006;36:189–98.
  57. Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk. A prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med*. 2007;35:1123–30.
  58. Akuthota V, Nadler SF. Core strengthening. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85 Suppl 1:S86–92.
  59. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt Jr RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes a prospective study. *Am J Sports Med*. 2005;33:492–501.
  60. Ford KR, van den Bogert J, Myer GD, Shapiro R, Hewett TE. The effects of age and skill level on knee musculature co-contraction during functional activities a systematic review. *Br J Sports Med*. 2008;42:561–6.
  61. Hewett TE, Zazulak BT, Myer GD, Ford KR. A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med*. 2005;39:347–50.
  62. Lloyd DG, Buchanan TS, Besier TF. Neuromuscular biomechanical modeling to understand knee ligament loading. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:1939–47.
  63. McLean SG, Walker KB, van den Bogert AJ. Effect of gender on lower extremity kinematics during forward direction of an integrated analysis of three sports movements. *J Sci Med Sport*. 2005;8:411–22.
  64. Ross S, Guskiewicz K, Schneider PW, Yu RB. Comparison of biomechanical factors between the kicking and stance limbs. *J Sport Rehabil*. 2004;13:135–50.
  65. Wikstrom EA, Tillman MD, Kline KJ, Borsa PA. Gender and limb differences in dynamic postural stability during landing. *Clin J Sport Med*. 2006;16:311–5.
  66. Nytal J, Smith S, Beickts K, Armsey T, Caborn DN. Frontal plane knee angle affects dynamic postural control strategy during unilateral stance. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:1150–7.
  67. Ford KR, Myer GD, Toms HE, Hewett TE. Gender differences in the kinematics of unanticipated cutting in young athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:124–9.
  68. Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT, Davis IM. Hip strength in females with and without patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2003;33:671–6.
  69. Myer GD, Brent JL, Ford KR, Hewett TE. Real-time assessment and neuromuscular training feedback techniques to prevent ACL injury in female athletes. *Strength Cond J*. 2011;33:21–35.
  70. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh JA, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med*. 2010;38:1968–78.
  71. Ross SE, Guskiewicz KM. Examination of static and dynamic postural stability in individuals with functionally stable and unstable ankles. *Clin J Sport Med*. 2004;14:332–8.
  72. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med*. 1996;24:765–73.
  73. Fort A, Romero D, Costa L, Pastur C, Lloret i, Montañola A. Diferències de l'estabilitat postural en dinàmica segons gènere i cama dominant. *Apunts Med Esport*. 2009;44:74–81.
  74. Enoka RM. *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1994.
  75. Granata KP, Wilson SE, Padua DA. Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part I. Quantification in controlled measurements of knee joint dynamics. *J Electromyogr Kinesiol*. 2002;12:119–26.
  76. Granata KP, Padua DA, Wilson SE. Gender differences in active musculoskeletal stiffness. Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. *J Electromyogr Kinesiol*. 2002;12:127–35.
  77. Wojtys EM, Ashton-Miller JA, Huston LJ. A gender-related difference in the contribution of the knee musculature to sagittal-plane shear stiffness in subjects with similar knee laxity. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84-A:10–6.
  78. Wojtys EM, Huston LJ, Schock HJ, Boylan JP, Ashton-Miller JA. Gender differences in muscular protection of the knee in torsion in size-matched athletes. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A:782–9.
  79. Padua DA, Carcia CR, Arnold BL, Granata KP. Gender differences in leg stiffness and stiffness recruitment strategy during two-legged hopping. *J Mot Behav*. 2005;37:111–25.
  80. Decoster LC, Bernier JN, Lindsay RH, Vilas JC. Generalized joint hypermobility and its relationship to injury patterns among NCAA lacrosse players. *J Athl Train*. 1999;34:99–105.
  81. Karageanes SJ, Blackburn K, Vangelos ZA. The association of the menstrual cycle with the laxity of the anterior cruciate ligament in adolescent female athletes. *Clin J Sport Med*. 2000;10:162–8.
  82. Bernier JN, Perrin DH, Rijke A. Effect of unilateral functional instability of the ankle on postural sway and inversion and eversion strength. *J Athl Train*. 1997;32:226–32.
  83. Isakov E, Mizrahi J. Is balance impaired by recurrent sprained ankle? *Br J Sports Med*. 1997;31:65–7.
  84. McKeon PO, Hertel J. Systematic review of postural control and lateral ankle instability. Part I. Can deficits be detected with instrumented testing. *J Athl Train*. 2008;43:293–304.

85. Ageberg E. Postural control in single-limb stance. In individuals with anterior cruciate ligament injury and uninjured controls. Department of Physical Therapy, Lund University; 2003.
86. Friden T, Zatterstrom R, Lindstrand A, Moritz U. A stabilometric technique for evaluation of lower limb instabilities. *Am J Sports Med.* 1989;17:118–22.
87. Matsusaka N, Yokoyama S, Tsurusaki T, Inokuchi S, Okita M. Effect of ankle disk training combined with tactile stimulation to the leg and foot on functional instability of the ankle. *Am J Sports Med.* 2001;29:25–30.
88. Tropp H, Odenrick P. Postural control in single-limb stance. *J Orthop Res.* 1988;6:833–9.
89. Freeman MA, Dean MR, Hanham IW. The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br.* 1965;47:678–85.
90. Lysholm M, Ledin T, Odkvist LM, Good L. Postural control—a comparison between patients with chronic anterior cruciate ligament insufficiency and healthy individuals. *Scand J Med Sci Sports.* 1998;8:432–8.
91. Tropp H, Ekstrand J, Gillquist J. Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16:64–6.
92. Tropp H, Ekstrand J, Gillquist J. Factors affecting stabilometry recordings of single limb stance. *Am J Sports Med.* 1984;12:185–8.
93. Olmsted LC, Carcia CR, Hertel J, Shultz SJ. Efficacy of the Star Excursion Balance Tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2002;37:501–6.
94. McGuine TA, Greene JJ, Best T, Levenson G. Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clin J Sport Med.* 2000;10:239–44.
95. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36:911–9.
96. Roberts D, Ageberg E, Andersson G, Friden T. Clinical measurements of proprioception, muscle strength and laxity in relation to function in the ACL-injured knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:9–316.
97. Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR, Cochrane JL. Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1176–81.
98. Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR. Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:119–27.
99. McLean SG, Lipfert SW, van den Bogert AJ. Effect of gender and defensive opponent on the biomechanics of sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:1008–16.

## CONCEPTO DE CORE STABILITY (María.García.Gil)

El término Core Stability nace en la década de los 90 en la Universidad Australiana de Queensland y es un concepto empleado para hacer referencia al control de la estabilidad lumbar. El enfoque del término era meramente terapéutico y estaba enfocado a aquellos pacientes que sufrían dolor lumbar de tipo crónico. Los autores P. Hodges y C. Richardson fueron pioneros en el estudio de las alteraciones del control motor generadas en la musculatura profunda y superficial del área lumbo-pélvica. Paralelamente Mc Gill, desde Canada, propuso una visión mucho más dinámica de la comprensión del término y avanzó indiscutiblemente en el conocimiento y estudio de la biomecánica de dicha área.

En la actualidad es un concepto que se ha ido extendiendo en el ámbito de la rehabilitación, readaptación y preparación física adquiriendo diferentes nomenclaturas y en ocasiones malinterpretándose su interpretación y aplicabilidad. En el presente apartado se realizará una profunda revisión del término valorando su aplicabilidad actual en los diferentes ámbitos y sus limitaciones.

## INTERRELACION MUSCULAR Y ARTICULAR

Diversas investigaciones han focalizado su atención en la biomecánica de la columna, buscando maneras de disminuir la fuerza de carga incidente sobre dicha zona y determinando formas de prevención y tratamiento del dolor.

El control de la función de la columna y de la pelvis es bastante complejo. Esta comúnmente aceptado que la columna es inestable de por sí y depende de la función muscular para su estabilidad. En una situación estática la estabilidad se consigue si la columna regresa o se mantiene en una situación completamente neutra o a una posición equilibrio. (Posición de mínimo gasto energético).

En un sistema inestable, la situación de máximo equilibrio articular es modificada constantemente. Para detectar las demandas generadas sobre la columna (Panjabi 1992) reconoce que la estabilidad lumbopélvica depende no solo de la actuación de los elementos pasivos sino que hay otros subsistemas que lo condicionan como es el

activo integrado en su totalidad por músculos y el neural (SNC). Con este planteamiento Panjabi (1982) propone un nuevo modelo de comprensión de la biomecánica de la columna lumbar: El concepto de estabilidad lumbopélvica debería ser analizado desde la conjunción activa de la columna lumbar y pelvis y coordinado por el sistema nervioso central.

Es la primera vez que el sistema nervioso central a través de estrategias de control motor toma relevancia en la función estabilizadora lumbar. La lesión y el dolor lumbar vienen por tanto a ser consecuencias de desequilibrios en este complejo sistema. (Richardson et al., 1999).

#### LESIONES ASOCIADAS A LA DISFUNCIÓN DE LOS COMPONENTES RTICULARES Y MUSCULARES

Ante la existencia de una alteración estructural como es el caso de una hernia discal o dolor lumbar de crónico es difícil recuperar completamente la funcionalidad del área lesionada. Está demostrado, que a pesar de que el tejido, histológicamente hablando, pueda en más o menos tiempo ser reparado, coexisten con dicha recuperación procesos adaptativos que actúan sobre el organismo más allá del restablecimiento de las propiedades propiamente estructurales (Lamoth 2006).

Ante una lesión, que ha cursado con dolor, el SNC genera cambios en la actividad de la musculatura implicada en el área lesionada. Se trata, en realidad, de una nueva organización funcional resultante de los cambios que se generan a nivel cortical debido al dolor (Melzack 1990)

Parece ser que los cambios pueden ser de dos tipos. Por un lado se origina un aumento de la eficacia sináptica de las redes de dolor y nocicepción y por otro, se produce una alteración de la representación cortical de la parte del cuerpo dañada (Lorimer, 2007). Se trata de un sistema dinámico de adaptación constante y las modificaciones que se generan pueden ser rápidas y al mismo tiempo ser mantenidas en el tiempo.

Muchos son los estudios que han tenido como objeto a lo largo de los años el indagar en el origen neurológico de dichos cambios y como resultado de ello se han generado



diferentes modelos de comprensión de los mecanismos que condicionan las alteraciones de la función motora (Van Dieen, 2003).

En el área lumbo-pelvica concretamente se observa que la musculatura profunda lumbar, concretamente el músculo multifidus, sufre una atrofia por inhibición ante la existencia de dolor o hernia lumbar (Kader et al., 2001; Yoshihara et al., 2000; Zhao, 2001), y la musculatura superficial, por el contrario, tiende a aumentar su actividad como mecanismo compensador. (Belavy et al., 2007, Danneels, 2000).

Otra alteración detectada en personas con dolor lumbar son las modificaciones en el tiempo de activación muscular, siendo muy evidente la aparición de un retardo en la activación del transverso abdominal tal y como ponen de manifiesto Cholewicki et al. (2002) tras analizar la evolución clínica de 292 atletas con dolor lumbar durante 5 años.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Cholewicki et al., 2002. Neuromuscular function in athletes following recovery from a recent low back injury. *J Orthop Sports Phys Ther.*32: 568-75.
2. Belavý et al., 2007. Superficial lumbopélvic muscle overactivity and decreased cocontraction after 8 weeks of bed rest. *Spine.* 32 (1): E23-E29
3. Danneels 2000. Ct imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subjects. *European Spine Journal.* 9:266-272
4. Hodges y Richardson, 1999. Altered trunk muscle recruitment in people with low back pain with upper limb movement at different speeds. *Archives of Physical Medicine and rehabilitation.* 1005-1012
5. Kader et al., 2000. Correlation between the MRI changes in the lumbar multifids muscles and leg pain. *Clinical Radiology.* 55: 145-149

6. Lamothe 2006. Effects of chronic low back pain on trunk coordination and back muscle activity during walking: changes in motor control. *European Spine Journal*. 15 (1) : 23-40
7. Lorimer 2007. Motor control in chronic pain: new ideas for effective intervention. In : *Movement, stability and lumbopelvic pain* Elsevier Science, Edinburgh
8. Melzack 1990. Phantom limbs and the concept of a neuromatrix. *Trends Neurosci*. 13:88-92
9. Yoshihara K., 2001. Histochemical changes in the multifidus muscle in patients with lumbar intervertebral disc herniation *Spine*. 26(6): 622-626
10. Van Dieen J. 2003 .Trunk muscle activation in low-back pain patients, an analysis of the literature. *Journal of Electromyography and Kinesiology*; 13: 333-351
11. Zhao 2001. Histology and morphology of the multifidus muscle in lumbar disc herniation: comparative study between disease and normal sides. *Spine*. 25(17):2191-9