



Principios del fortalecimiento muscular: aplicaciones en el deportista en rehabilitación

L. Hubert, G. Ontanon, J. Slawinski

Las causas de déficit muscular son numerosas: inmovilización prolongada, lesión mioaponeurótica, tendinopatía, fractura consolidada o en proceso de consolidación. Puesto que la causa principal de la incapacidad no siempre reside en el músculo, los protocolos terapéuticos se establecen en función del origen del déficit. Para identificarlo es necesario evaluar la fuerza muscular en todos los casos. Se efectúa en un momento dado y en diversas condiciones psicofísicas y afectivas (mañana-tarde, ayuno-digestión, euforia-cansancio, calor-frío, nerviosismo, estrés, trauma psíquico, problemas personales) y con distintos métodos de evaluación. Se trata de parámetros que, añadidos al morfotipo, influirán en los resultados de la evaluación. Así, el potencial muscular se mide en un momento determinado de la vida del deportista y permite definir la estrategia terapéutica para mejorarlo. El fortalecimiento, dirigido y calibrado, genera los cambios anatomofisiológicos necesarios para mejorar el rendimiento. Se considera el tipo de músculo y, por tanto, los movimientos que permite en el gesto deportivo, así como el rendimiento del deportista antes de la lesión. Los principios del fortalecimiento muscular en rehabilitación deportiva deben incluir la lesión y el nivel inicial del deportista. Esto permite elaborar un programa de fortalecimiento muscular adaptado al deportista lesionado. El objetivo de este artículo es presentar algunas de las principales lesiones en el deportista y los principios generales de fortalecimiento muscular para este tipo de lesiones, en particular a partir de ejemplos de la práctica corriente.

© 2017 Elsevier Masson SAS. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Músculo; Evaluación; Calibración; Individualización; Desarrollo; Fortalecimiento; Deporte

Plan

■ Introducción	1
■ Tipos de lesiones en el deportista	2
Esguince benigno: afectación indirecta del músculo por subutilización	2
Fractura: afectación indirecta por inmovilización	2
Tendinopatía: afectación directa	2
Lesión extrínseca por golpe directo: lesión directa	2
Lesión mioaponeurótica: lesión directa	3
Ligamentoplastia	3
■ Principios generales del fortalecimiento muscular	4
Evaluación de las cualidades musculares	4
Desarrollo	5
■ Adaptaciones fisiológicas al fortalecimiento	9
■ Ejemplos de tratamiento de lesiones	10
Primer caso clínico: tratamiento de un jugador de rugby profesional 4 meses después de una ligamentoplastia	10
Segundo caso: lesión muscular recidivante de los isquiosurales en un atleta de alto rendimiento	11
Ejemplos de protocolos de fortalecimiento muscular	11
■ Conclusión	11

■ Introducción

En rehabilitación, el objetivo es devolver al cuerpo un potencial similar (para una lesión extrínseca de tipo contusión) o superior (para una lesión intrínseca de tipo lesión mioaponeurótica) al que existía antes de los deterioros causados por un traumatismo u otra patología (Fig. 1). La causa de la lesión y el estado muscular antes de ésta guiarán al equipo médico y deportivo hacia el objetivo que se quiere alcanzar y los medios para lograrlo. En efecto, la gran diferencia entre el desarrollo de las cualidades musculares del deportista en período de preparación física y de rehabilitación es que, en el último caso, es preciso evaluar la capacidad muscular del deportista. Por ejemplo, una lesión del cuádriceps por un golpe directo (lesión extrínseca) no permite saber si previamente existía un déficit de fuerza. Al contrario, una lesión mioaponeurótica de los isquiosurales (lesión intrínseca) puede deberse a un defecto de fuerza en modo excéntrico y recorrido externo respecto a una proporción no equilibrada con sus antagonistas. Así, los principios del fortalecimiento muscular en rehabilitación deportiva deben tener en cuenta la lesión y el nivel inicial del

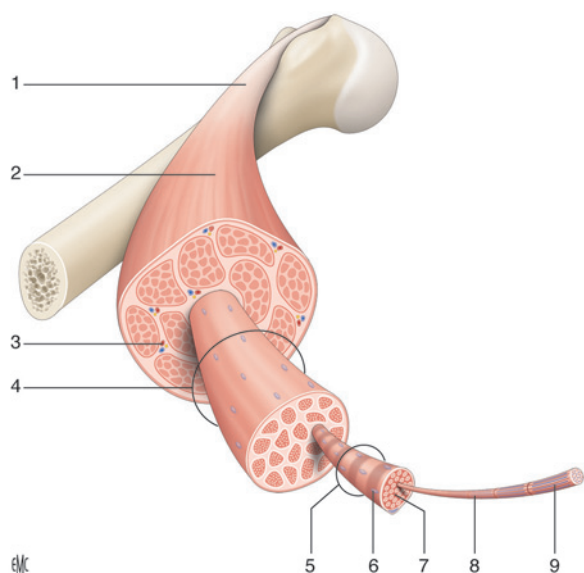


Figura 1. Estructura anatómica del músculo. 1. Tendón; 2. músculo esquelético; 3. arterias, venas y nervios; 4. haz de fibras; 5. fibra muscular; 6. núcleo; 7. sarcoplasma; 8. sarcolema; 9. miofibrilla.

deportista. Esto permite elaborar un programa de fortalecimiento muscular adaptado al deportista lesionado.

El objetivo de este artículo es exponer los principios del fortalecimiento muscular en rehabilitación deportiva en tres partes principales:

- una primera parte referida a las lesiones musculares más frecuentes en los deportistas, en términos de gravedad y de efecto sobre el fortalecimiento muscular. Se exponen entonces las técnicas que se aplican en kinesiterapia;
- una segunda parte referida a la metodología del fortalecimiento muscular, empezando por los métodos de evaluación y de análisis que legitiman los contenidos del fortalecimiento muscular: elementos específicos del deporte del que se trate, nivel de las capacidades musculares de los deportistas en rehabilitación. A partir de este análisis, se tratan las técnicas y los procedimientos específicos del fortalecimiento muscular;
- una tercera parte destinada a ilustrar las dos partes precedentes con dos ejemplos de tratamiento de rehabilitación deportiva y del daño residual al reanudar la competición, así como con un ejemplo de protocolo de fortalecimiento muscular.

■ Tipos de lesiones en el deportista

El deportista sufre diversas lesiones que necesitan fortalecimiento muscular y afectan a las estructuras musculares de forma directa o indirecta.

Esguince benigno: afectación indirecta del músculo por subutilización

La disminución de la fuerza se debe al dolor (en función del sector angular), al edema provocado por la lesión ligamentosa y capsular. En la fase aguda, la fuerza aumenta por la disminución del hematoma y la cicatrización del sistema capsuloligamentoso gracias al protocolo PRICE (*protección-descanso-hielo-compresión-elevación*, por sus siglas en inglés) [1] o POLICE (*protección-carga óptima-hielo-compresión-elevación*, por sus siglas en inglés) [2]. El término «carga óptima» que reemplaza a «descanso», significa que un trabajo equilibrado y cuantificado favorece la recuperación y la reanudación precoz de la actividad. Este protocolo varía en función de la lesión: parte

superior o inferior del cuerpo, lesión ligamentosa o muscular. El trabajo isométrico se prioriza en la fase de cicatrización ligamentosa, modo concéntrico en recorrido medio-interno para ir hacia el recorrido externo y luego excéntrico [3-7]. El fortalecimiento se efectúa también en carga durante los ejercicios de propiocepción (estimulación nerviosa) y de reprogramación neuromuscular por órdenes motoras sintéticas preprogramadas (patrón o engramas) [8]. La resistencia muscular es un eje privilegiado del fortalecimiento porque en la mayoría de los casos es la causa de la lesión, lo mismo que el trabajo pliométrico, en particular para los músculos estabilizadores de la rodilla y del tobillo [9].

Fractura: afectación indirecta por inmovilización

La pérdida de fuerza se debe a la inmovilización y, por tanto, a una atrofia muscular. Quizá sea la única patología en la que los elementos estructurales del músculo son la causa principal. De todos modos, hay que recrear los engramas a efectos de afinar la reprogramación neuromotriz. El fortalecimiento isométrico, sin resistencia y sin brazo de palanca (o por encima de la fractura), tras alcanzar la fase de proliferación de las células óseas que forman el callo blando (unión de la fractura), es el modo de contracción preferente y en particular en cocontracción para una acción en «viga» que potencia la consolidación ósea [10]. Sin embargo, no debe efectuarse una transposición a la altura del foco de la fractura. La electromiostimulación [11] con corrientes excitomotoras se recomienda combinada con contracciones voluntarias [12-16]. Después de alcanzar la consolidación, el fortalecimiento muscular puede comenzar con un programa de hipertrofia de tipo 10 × 10. Luego se busca de forma progresiva la potencia máxima y la fuerza máxima, para concluir en la explosividad (cf infra «Ejemplos de protocolos de fortalecimiento muscular»).

Tendinopatía: afectación directa

El término tendinopatía agrupa el conjunto de las patologías que afectan a las diversas partes del tendón [17], con manifestaciones clínicas como dolor, trastorno funcional y limitación de las actividades laborales o deportivas, que han sido descritas en el International Scientific Tendinopathy Symposium [18]. Comprenden la tendinosis, la entesopatía [19, 20], la tenosinovitis [21], la paratenonitis, la peritendinitis y la bursitis. La pérdida de fuerza muscular se debe sobre todo al dolor. Además, se puede detectar en un sector angular determinado y a cierta velocidad de contracción (aspecto de curva en isocinetismo de área de inhibición dolorosa). El principio es priorizar el trabajo excéntrico [22-25] descrito por Stanish [26], posteriormente adaptado por Alfredson [27-29]. El protocolo isocinético [30] permite una retroalimentación visual y un control de las amplitudes y de la velocidad de trabajo. El trabajo concéntrico se hace a alta velocidad con el propósito de disminuir las sensaciones dolorosas y las fuerzas articulares compresivas. Existe un cierto interés por el mecanismo de difusión (*overflow*), que es un fortalecimiento por desbordamiento de energía en los ángulos cercanos al lugar de trabajo, ya sea sobre las velocidades inferiores o superiores. El tratamiento excéntrico de las tendinopatías no debe hacer olvidar todas las demás técnicas: masaje transversal profundo [31], técnica de enganche, de raspado, ondas de choque [32], estiramientos y vendaje neuromuscular [33, 34].

Lesión extrínseca por golpe directo: lesión directa

La gravedad de la contusión dependerá de la presencia o la ausencia de un hematoma intramuscular por ruptura

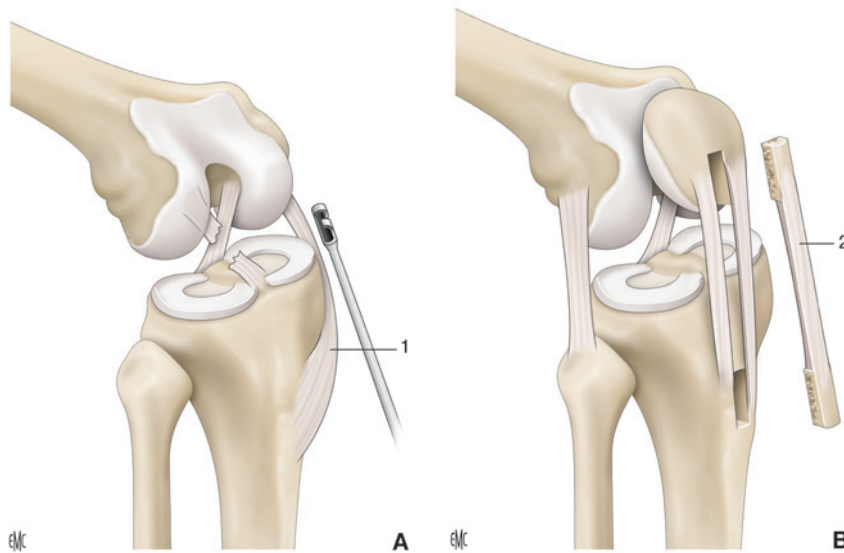


Figura 2. Ligamentoplastia RIST (recto interno y semitendinoso) (A) y KJ (Kenneth Jones) (B). 1. Recto interno y semitendinoso; 2. tendón rotuliano.

de la continuidad del cuerpo muscular [35]. La pérdida de fuerza se debe principalmente al dolor con la contracción, así como al estiramiento de las fibras durante una contracción en modo excéntrico o concéntrico y recorrido externo [36]. Se trata de fortalecer un músculo que ha sufrido microdesgarros con hemorragia. En las lesiones de la cara anterior del muslo puede producirse inhibición muscular, limitación articular de la flexión de la rodilla o incluso hiartrrosis reactiva. Además de los protocolos PRICE [1] o POLICE [2] relativos a los trastornos tróficos, en los primeros días se efectúa un trabajo isométrico, incluyendo la supresión de la inhibición (técnicas de captura y/o electroterapia), seguido de un trabajo concéntrico y luego de un trabajo excéntrico infradoloroso. El trabajo de hipertrofia muscular se efectúa después de recuperar las amplitudes articulares para compensar el aplastamiento provocado por el golpe.



Lesión mioaponeurótica: lesión directa

Las lesiones mioaponeuróticas son intrínsecas y se producen cuando el músculo excede sus propias capacidades. El mecanismo lesional es un esfuerzo muscular excéntrico no controlado o un estiramiento excesivo (*overstretching*) [37-42]. El déficit de extensión poslesional es un buen factor pronóstico de la lesión y de la duración de la incapacidad [43, 44]. La regeneración del músculo se ajusta a un proceso muy específico en el que el kinesiterapeuta desempeña un papel preponderante. El objetivo de la rehabilitación es disminuir el proceso inflamatorio cicatricial [45, 46]. La lesión (en función del grado) y el dolor que provoca son las causas de la pérdida de fuerza muscular. Por tanto, será necesario favorecer la cicatrización antes de iniciar el fortalecimiento en sí mismo [45]. El trabajo excéntrico permite estimular las proteínas musculares (titina, desmina, nebulina) responsables de mantener los filamentos de actina y de miosina durante la contracción muscular. Esto favorece la cicatrización y ayuda al fortalecimiento muscular. A continuación se aplica un protocolo normal de fortalecimiento. El isocinetismo resulta interesante en las dos fases (cicatrización-fortalecimiento), ya que en un primer tiempo permite cuantificar la resistencia y el sector angular (3 series de 10 repeticiones en recorrido interno y medio a velocidad lenta, 10°/s) para no correr un riesgo de recidiva. La evolución favorable, tanto clínica como en estudio por imagen, propende al aumento de la velocidad y la resistencia y al recorrido externo. En un segundo tiempo, el objetivo es el reequilibrio de una proporción muscular perturbada por la amiotrofia

postraumática. Este trabajo, seguido de una evaluación, tiene como objetivo evitar una posible recidiva [47]. Este método puede efectuarse de forma manual, pero requiere una perfecta concentración del deportista respecto a sus sensaciones.

Según Middleton y Montero [48], en los isquiosurales y los músculos del manguito de los rotadores sería indispensable implementar un protocolo de fortalecimiento muscular en modo excéntrico a gran velocidad, debido a su acción de frenado en el gesto deportivo. Dado que sus antagonistas suelen ser fortalecidos y de manera concéntrica, se manifiesta un desequilibrio de fuerza entre ambos grupos. Es obvio entonces que debe aumentarse su fuerza, pero de modo excéntrico, con el riesgo de causar una lesión en caso de práctica deportiva intensa. El fortalecimiento, ya sea como tratamiento o prevención, debe regularse con el fin de mejorar la resistencia al estiramiento sin ser fuente de lesión [49-51]. El aumento del entrenamiento en trabajo excéntrico también permite prevenir las mialgias diferidas (o dolor muscular de aparición tardía, *delayed onset muscle soreness*), que en su mayoría corresponden a microlesiones consecutivas a un trabajo muscular inusual de tipo excéntrico [52-54].

Ligamentoplastia (Fig. 2)

La lesión se compone de elementos musculares del injerto (tendón rotuliano, tendones recto interno-semiendinoso, tendón cuadriceps y fascia lata), aunque inicialmente se trate de una lesión ligamentosa.

La posible inhibición inicial del cuádriceps puede producirse entre una hora y una hora y media después de la intervención. La cuestión es saber si la pérdida de fuerza muscular sólo se debe a un déficit del propio músculo. La disminución de la hiartrrosis y la estimulación del control muscular bastan para recuperar el bloqueo de la rodilla, primero en reposo y después con apoyo [55, 56]. Por lo tanto, antes del fortalecimiento clásico del cuádriceps habrá que privilegiar las técnicas de drenaje, en particular la del fondo de saco subcuadricepsal. Se prioriza la cadena cerrada al principio de la rehabilitación, seguida de la cadena cinética abierta con resistencia proximal (trabajo muscular con menos impacto en el neotrasplante) y el trabajo en modo excéntrico sobre los isquiosurales (en razón de su fisiología, a menos que la técnica quirúrgica incluya la toma de injerto de los tendones de recto interno y semitendinoso: RIST) [57, 58]. La electroterapia se puede usar como complemento, tanto en cadena cinética abierta como cerrada, durante ejercicios de sentadillas. Se

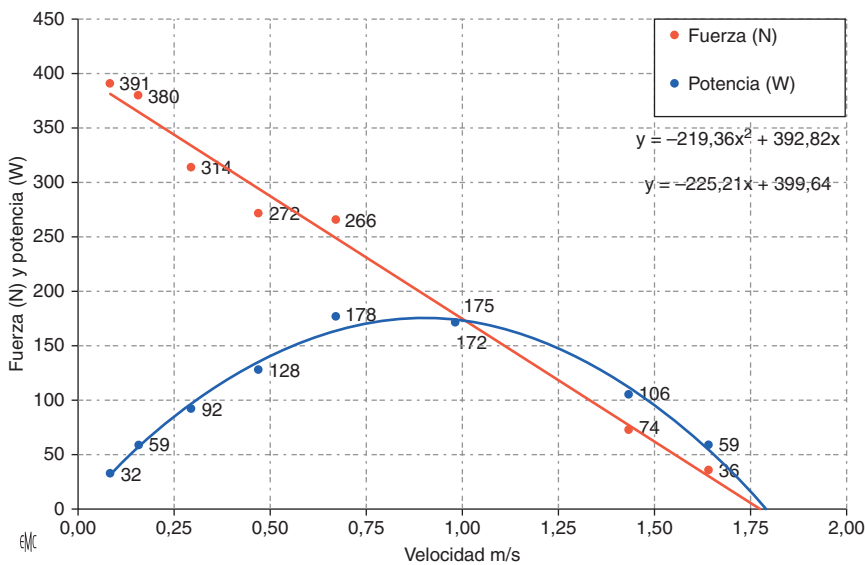


Figura 3. Ejemplo de relación fuerza-velocidad obtenida durante un *press* de banca con ergómetro isocinético (ARIEL). Esta relación permite evaluar la fuerza, la potencia y la velocidad máxima alcanzada en este gesto. Estos parámetros permitirán programar el fortalecimiento muscular y evaluar sus efectos.

tiene en cuenta la técnica quirúrgica con el fin de evitar tendinopatías rotulianas (Kenneth Jones) o lesiones recidivantes de los flexores de la rodilla (por toma de injertos de los tendones de RIST). Una vez cumplidos los plazos quirúrgicos, el fortalecimiento muscular se efectúa en cadena abierta, con resistencia proximal (para los extensores de la rodilla) y distal (para los flexores). Durante el fortalecimiento en isocinetismo, se prioriza la velocidad media (90°/s) y rápida (180°/s y 240°/s) en una amplitud de menor impacto sobre el neotrasplante, es decir, hacia -30°/90° [59]. El déficit global predomina en el cuádriceps, ya que la amiotrofia afecta en primer lugar a las fibras de tipo I que están en mayor proporción en este músculo que en los isquiosurales [60]. El fortalecimiento muscular está favorecido también por la reanudación de la carrera entre el tercero y el cuarto mes. La musculación, la pliometría y la velocidad completan el arsenal de las técnicas de fortalecimiento en el sexto mes.

■ Principios generales del fortalecimiento muscular

Evaluación de las cualidades musculares

Relación fuerza-velocidad

Para evaluar las cualidades musculares es necesario analizar en cada movimiento tres parámetros:

- la fuerza máxima desarrollada;
- la potencia máxima producida;
- la velocidad máxima alcanzada.

El análisis de estos parámetros durante el movimiento en estudio (es decir, *press* de banca, sentadillas, etc.) implica medir al mismo tiempo la fuerza desarrollada y la velocidad de movimiento. Es posible usar dos tipos de herramientas, las que miden la fuerza a velocidad constante (sistema isocinético) y las que miden la velocidad de movimiento con fuerza o carga constantes (sistema de vídeo o acelerométrico). La evaluación isocinética requiere cierto aprendizaje sobre la máquina y los movimientos. El conocimiento, la comprensión y la motivación son parámetros que influyen en los resultados de la evaluación de la fuerza muscular. Se efectúa a velocidad lenta en modo concéntrico (60°/s) y rápida en modo excéntrico (90°, incluso 120°/s). A partir de la medición de la fuerza y/o de la velocidad es posible obtener la relación fuerza-velocidad en cada paciente (Fig. 3). A continuación, la evaluación permite individualizar y programar el fortalecimiento muscular. Por lo tanto, hay que evaluar la

relación fuerza-velocidad en los principales movimientos utilizados para el fortalecimiento muscular.

Evaluación directa de una repetición máxima (1RM)

Otra manera de abordar la evaluación de las cualidades musculares es centrarse únicamente en la valoración de la carga máxima levantada (fuerza máxima desarrollada) en los movimientos de fortalecimiento muscular. Aunque este método es menos preciso que el anterior, permite prescindir de la medición de la velocidad del movimiento y no necesita un aparato específico. Así, para poder calibrar y planificar un programa de fortalecimiento muscular, en primer lugar hay que evaluar la fuerza máxima. En un deportista no lesionado se efectúa una prueba directa. Se trata de levantar el máximo de carga una sola vez, en la amplitud completa: 1RM. Para ello, el deportista efectúa el calentamiento con cargas crecientes. En la prueba hay que respetar el tiempo de recuperación entre cada serie (entre 2-3 minutos). La 1RM se obtiene cuando el deportista no puede levantar la carga más de una vez. El objetivo del fortalecimiento muscular es aumentar la 1RM durante el protocolo. Dado que el sistema nervioso no está acostumbrado a este tipo de esfuerzo, en la evaluación inicial se corre el riesgo de subestimar la 1RM.

Evaluación indirecta de 1RM (Cuadro 1) (Fig. 4)

La dificultad se presentará durante la evaluación del deportista en el proceso de consolidación, ya que no es posible efectuar una prueba de fuerza máxima. Existiría un riesgo demasiado elevado de dolor, de lesión y, por tanto, de recaída. La 1RM se calculará entonces de forma indirecta. Se pide al deportista levantar una carga ligera 10 veces. Después se aumenta la carga hasta que sólo pueda levantar el peso 3-7 veces. El criterio de interrupción es el dolor y no la carga. Gracias a estos dos parámetros (carga y número de repeticiones), se obtiene una evaluación de la 1RM con un muy buen coeficiente de validez.

Éstas son algunas ecuaciones que, según varios autores, pueden dar la 1RM:

- fórmula de Epley:
 - $1RM = w \times (1 + r/30)$,
 - w = carga utilizada para la evaluación,
 - r = número de repeticiones;
- ecuación de Brzycki:

Cuadro 1.
Ecuaciones de equivalencia.

Repetición		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
Peso previsto para X repeticiones con 100 kg 1RM	Epley	100	94	91	88	86	83	81	79	77	75	71	67
	Brzycki	100	97	94	92	89	86	83	81	78	75	69	61
	Lander	100	96	93	91	88	85	83	80	77	75	69	61
	Lombardi	100	93	90	87	85	84	82	81	80	79	78	76
	Mayhew et al	100	90	88	86	84	82	81	79	78	76	74	71
	O'Conner et al	100	95	93	91	89	87	85	83	82	80	77	73
	Wathen	100	95	92	89	86	83	81	78	76	74	71	66
Mediana de estos métodos	100	94	92	89	87	84	82	80	78	76	73	68	

RM: repetición máxima.

Figura 4. Cálculo de la 1RM en función del número de repeticiones y de la carga levantada.

- $1RM = w \times 36 / (37 - r) = w / [(37/36) - (r/36)]$
 $\approx w / [1,0278 - (0,0278 \times r)]$,
- w = carga utilizada para la evaluación,
- r = número de repeticiones.

Estas dos fórmulas son las que más se usan y producen resultados equivalentes cuando el número de repeticiones es de diez.

Para un número de repeticiones inferior a diez, la fórmula de Epley produce una leve sobrestimación. En efecto, si se toma una carga de 100 kg levantada seis veces, la 1RM según la fórmula de Epley da una 1RM de 120 kg, mientras que con la ecuación de Brzycki la 1RM es de 116 kg.

Esta evaluación indirecta se vuelve a calcular en función de la evolución objetiva (por ejemplo, mediante estudio por imagen) y subjetiva (dolor, cansancio), lo que permite ajustar las cargas de entrenamiento.

Se han propuesto otras fórmulas más complejas con diversos coeficientes y diferentes números de repeticiones, a veces incluso para distintos ejercicios: fórmulas de Lander, de Lombardi, de Mayhew, de O'Conner o incluso de Wathen.

La evaluación ideal debe efectuarse durante la función normal del músculo en el gesto deportivo. Por ejemplo, los músculos flexores-aductores y rotadores internos del hombro se estudian en modo excéntrico en la biomecánica del saque en el tenis o el balonmano.

Evaluación isocinética

La evaluación isocinética requiere cierto aprendizaje sobre la máquina y los movimientos. El conocimiento, la comprensión y la motivación son parámetros que influyen en los resultados de la evaluación de la fuerza muscular. Si es posible, la evaluación se hace de forma bilateral para comparar en particular valores de momento de fuerza y se calculan proporciones con un propósito de profilaxis^[47]. Es preciso conocer la fisiología muscular del grupo en estudio: isquiosurales, elevadores del tobillo, espinales y rotadores externos del hombro, más bien en modo excéntrico. El cuádriceps, los rotadores internos



del hombro, los flexores del codo y los abdominales se evalúan y se rehabilitan en modo concéntrico. Los extensores del tobillo se pueden evaluar en los dos modos por su movimiento durante un esfuerzo pliométrico.

Puede observarse también que, según la velocidad a la que se efectúa un ejercicio (en particular en isocinetismo), el dolor no es el mismo (curva con aspecto de «lomo de camello»). Así, en las tendinopatías se prioriza un trabajo a velocidad rápida en un sector protegido. El fortalecimiento, por el isocinetismo, se efectúa mediante desbordamiento de energía (difusión o irradiación muscular) en la amplitud y la velocidad utilizadas (Fig. 5).

La posición de evaluación también es importante. Por ejemplo, los rotadores se analizan más bien en decúbito supino que en posición sentada (posición de Davies modificada), con el brazo en abducción, a efectos de optimizar la reproducibilidad y disminuir las cargas articulares.

Desarrollo

Origen de la fuerza muscular

El análisis de los factores de influencia de la fuerza revela que ésta se ve afectada por factores estructurales y nerviosos^[61, 62].

Factores estructurales (Cuadro 2)

La proporción variable de fibras de tipo I, IIa y IIb le confiere a cada músculo una característica fisiológica propia. Es posible determinar entonces la velocidad máxima de contracción a partir de datos simples que, sin embargo, son producto de largas experiencias. De ellas puede deducirse que los haces musculares que sólo contienen fibras I son los más lentos y que los que sólo contienen fibras IIb son los más rápidos. Estas fibras difieren por su composición molecular (Fig. 6): dado que las moléculas de actina son las mismas, lo que varía es el contenido de troponina, tropomiosina y miosina. La miosina es su vez la asociación de dos cadenas pesadas y cuatro cadenas livianas^[63].

Como un músculo está constituido por varios tipos de fibras, los haces pueden clasificarse (de los más lentos a los más rápidos) en^[64, 65]: fibras I solas < fibras I/IIa híbridas < fibras IIa solas < fibras IIa/IIb híbridas < fibras IIb solas.

Aunque las fibras IIb se utilizan en actividades más cortas y más rápidas, no es la velocidad de contracción sino más bien la fuerza del músculo lo que genera la movilización de las fibras IIb por los nervios motores^[66]. Esto explica por qué los atletas que practican deportes de velocidad deben aumentar su fuerza. Los gestos deportivos efectuados activan las fibras IIb y, por tanto, se producen con rapidez y explosividad.

La activación de uno u otro tipo de fibra depende de la intensidad de la carga. Así, cuanto más aumenta la carga, más se activan las fibras rápidas durante la contracción. En consecuencia, existe una alta correlación entre la fuerza máxima concéntrica y el porcentaje de fibras II durante las contracciones rápidas^[67]. En el aspecto

funcional, un deportista con una gran proporción de fibras rápidas puede desarrollar más fuerza y potencia durante movimientos rápidos, en particular en la fase inicial de aceleración, que un deportista con una pequeña proporción de fibras rápidas.

La estructura muscular tiene tres componentes que influyen sobre la fuerza: el ángulo de penación, la longitud y la superficie de las fibras.

El ángulo de penación (Fig. 7) influye en la fuerza de un músculo. La fuerza de una fibra es distinta a la fuerza de un músculo (que depende de la longitud entre la primera fibra insertada en la aponeurosis y la última y el ángulo de penación).

- La fuerza desarrollada depende del ángulo de penación:
- mientras más grande es el ángulo de penación, mayor es la fuerza;
 - mientras más pequeño es el ángulo de penación, mayor es la velocidad.

- El ángulo de penación depende de varios factores:
- genético;
 - sexual (para un gastrocnemio, puede variar en un 26% y puede hacerlo en el 13% en cuanto a la longitud de las fibras);
 - movimiento angular de la articulación interesada;
 - tipo de entrenamiento (la hipertrofia aumenta el ángulo de penación) [68-71];
 - identidad deportiva (por ejemplo, en el velocista, el ángulo de penación es más pequeño) [72].

Así, los músculos con mayor fuerza se caracterizan por fibras cortas, ángulo de penación grande, sección transversal ancha y fibras paralelas.

Los músculos con mayor velocidad se caracterizan por fibras largas, ángulo de penación pequeño, sección transversal pequeña y fibras en serie.

La fuerza, la velocidad y la reactividad de un músculo dependen (fuera de los factores neuromusculares) del área de sección transversal, de la longitud de las fibras y del ángulo de penación.

Factores nerviosos (Fig. 8)

- Reclutamiento y estimulación de las unidades motoras: hay que tener en cuenta la naturaleza de las fibras que componen el músculo y su inervación. La naturaleza del estímulo o la intensidad de la carga no provoca el

reclutamiento del mismo número de unidades motoras. La fuerza desarrollada depende del número de unidades motoras (sincronización de las unidades motoras) activadas y también de la frecuencia de los impulsos a su nivel según Semmler [73]. Estas dos magnitudes están determinadas por el nivel de activación de los cuernos anteriores de la médula espinal por los centros motores. El factor principal de graduación de la fuerza es el número de unidades motoras activadas. Este número presenta un gran margen de variación, de algunas unidades a varias centenas. El umbral de activación más bajo se observa en las motoneuronas de pequeño calibre, que estimulan las fibras de contracción lenta. Las fibras de contracción rápida, inervadas por las motoneuronas menos excitables, son estimuladas por los niveles de activación más elevados [74].

- Sincronización intramuscular.
- Coordinación entre músculos agonistas y antagonistas:
 - efectuar un movimiento implica la activación de los músculos agonistas (que ayudan a la ejecución del movimiento) y antagonistas (que se oponen al movimiento o lo frenan);
 - la herencia ayuda a comprender por qué algunos atletas son mejores que otros en algunas actividades deportivas [75].

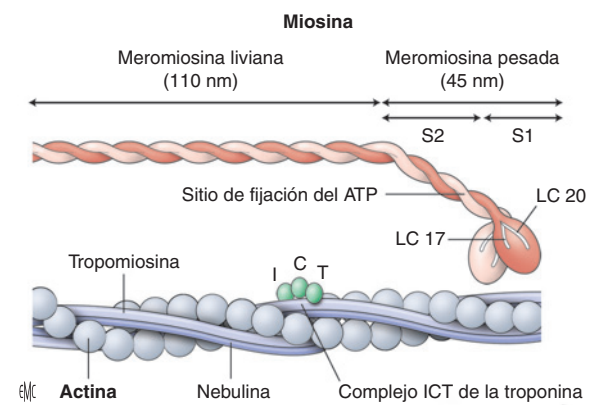
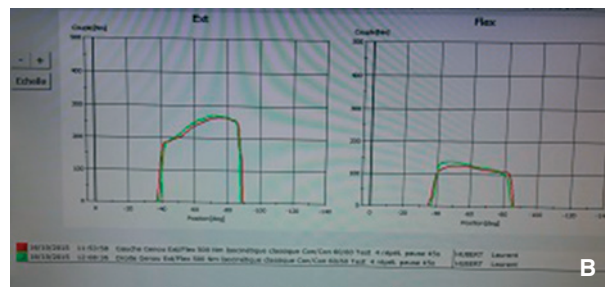


Figura 6. Citoesqueleto. ATP: adenosín trifosfato.



Figura 5. Ejemplo de aparato isocinético (A). Curvas comparativas de los flexores y los extensores de la rodilla (B).



Cuadro 2.

Distintos tipos de fibras musculares.

Fibras musculares de contracción	Lenta	Rápida	
Tipo	I	IIa	IIb
Vascularización	Muy rica	Rica	Baja
Potencial para usar oxígeno	Muy elevado	Elevado	Bajo
Contenido de grasas	Muy rico	Intermedio	Bajo
Resistencia al cansancio	Muy elevada	Elevada	Baja
Reclutamiento durante los ejercicios	Largo y moderado	Largo e intenso o moderado	Breve e intenso

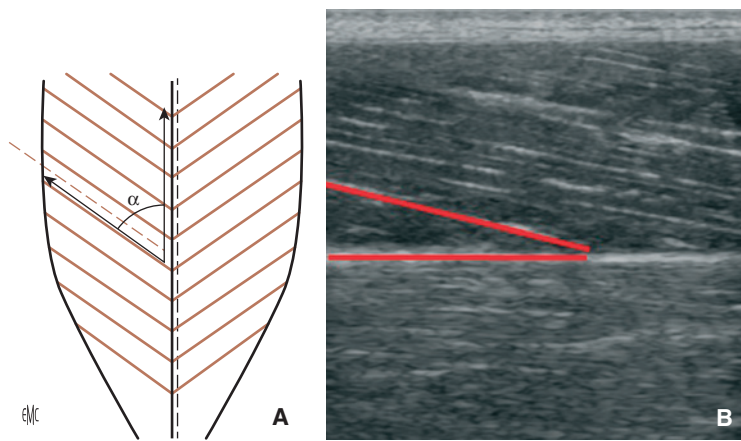


Figura 7. Ecografía del vasto lateral con medición del ángulo de penetración de las fibras musculares (A, B).

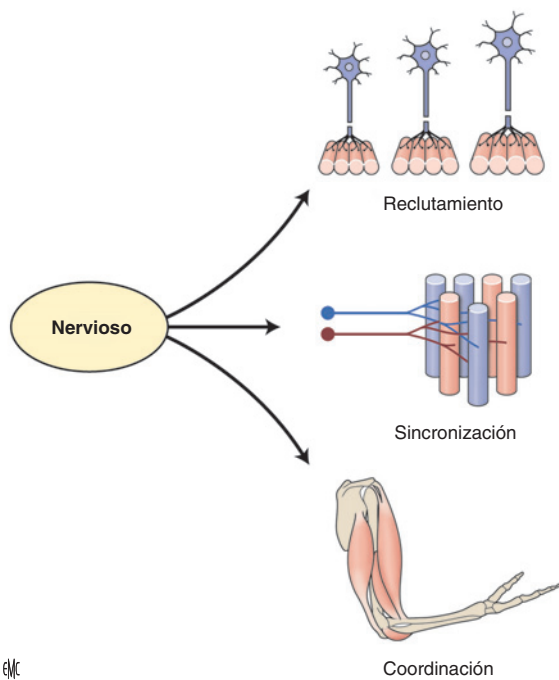


Figura 8. Importancia de los factores nerviosos en el reclutamiento, la sincronización de las UM (unidades motoras) y la coordinación de los músculos agonistas-antagonistas.

- Características mecánicas del músculo: gracias a la clasificación de los músculos, se pueden considerar características mecánicas variables en cada deportista, como:
 - la relación fuerza-longitud;
 - en función de la relación fuerza-velocidad de acortamiento, por ejemplo, en modo concéntrico, el cuádriceps desarrolla más fuerza a $30^\circ/s$ que a $240^\circ/s$;
 - la estimulación nerviosa del músculo: relación fuerza-tiempo que corresponde al impulso (fase de aumento de la fuerza, momento de fuerza máxima y mantenimiento de esta fuerza durante el movimiento);
 - resistencia muscular: el cansancio muscular se define como la disminución o la incapacidad de un músculo para desarrollar fuerza o potencia tras el ejercicio físico [76]. El cansancio puede ser de origen central (deterioro de la activación voluntaria del músculo en caso de contracciones submáximas de poca intensidad) o periférico (alteración de la contracción muscular por la limitación de la liberación de los iones Ca^{2+}). Las fibras I son más resistentes que las fibras II. Sea cual sea el tipo de músculo, el cansancio muscular periférico proviene del fenómeno

químico siguiente: una incapacidad del músculo para la liberación del Ca^{2+} (por acumulación de fosfato inorgánico y/o por un descenso de las reservas de adenosín trifosfato) en el retículo sarcoplásmico y su recaptación. A pesar del reclutamiento de nuevas unidades motoras para compensar a las que están activas durante una contracción muscular, se produce una disminución de la fuerza máxima y de la velocidad de relajación. El cansancio también puede interpretarse como un mecanismo de protección para evitar los efectos deletéreos del ejercicio muscular agotador. Las fibras II son más fatigables que las fibras I. Por lo tanto, un músculo con una mayor proporción de fibras II es más fatigable. Además, el cansancio de un grupo muscular se expresa por una disminución de sus velocidades óptimas y de su fuerza máxima de contracción. Sea cual sea la composición de un grupo muscular, su fatigabilidad se reduce con el entrenamiento (en forma de actividad moderada prolongada). Así, mecanismos nerviosos periféricos y/o centrales disminuyen la capacidad de producción de fuerza;

- el almacenamiento y la reutilización de la energía mecánica (participación de las proteínas de unión, en particular la titina) en los movimientos complejos. Desde un punto de vista práctico, los ejercicios pliométricos favorecen el desarrollo de sarcómeros en serie. La intervención del reflejo miotático acoplado a la elasticidad del sistema tendón-músculo permite desarrollar una fuerza superior.

En conclusión, no es posible efectuar un fortalecimiento muscular pensando sólo en las fibras musculares. Hay que considerar el conjunto de la estructura muscular acoplado a la integración del gesto.

- Incidencias e individualización: teniendo en cuenta que la genética implica una morfología y una fisiología que pueden ser inadecuadas al deporte practicado (límites intrínsecos del deportista con el deporte que realiza), hay que conocer las exigencias deportivas y el gesto específico (lanzamiento, impacto, salto, etc.) para efectuar un fortalecimiento correcto. Así, se comprende fácilmente que cada deportista tiene cualidades distintas y que de ellas se desprende la individualización de su fortalecimiento. También hay que considerar las incidencias sobre las diversas actividades en términos de velocidad, fuerza y resistencia, así como las características específicas del deporte que practica y el puesto que ocupa en un equipo.

Tomemos el ejemplo del rugby. La primera etapa consiste en saber cuáles son las cualidades musculares necesarias para este deporte:

- repetición de aceleraciones: en promedio, hoy en día se pueden contar 100-110 acciones intensas de corta

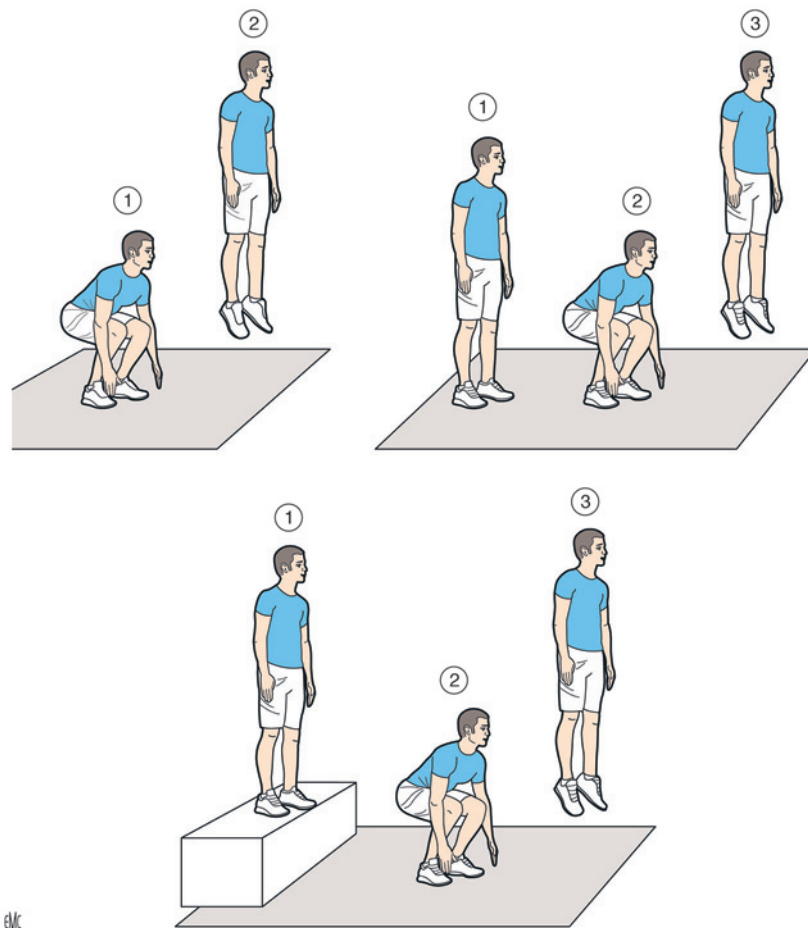


Figura 9. Diversas evaluaciones pliométricas.

duración (< 5 s) por partido de alta competición y por jugador, lo que globalmente representa una acción intensa cada 38-40 s;

- fuerza-velocidad o «explosividad» en el arranque para dejar atrás a uno o más adversarios directos. En este caso, las distancias de las carreras rara vez exceden 20 metros;
- resistencia de velocidad en las carreras más largas (en promedio entre 40-60 m) para llevar el balón de rugby detrás de la línea de gol después de perforar la línea defensiva del adversario, de una gran escapada consecutiva a un desbordamiento, una intercepción o bien para atrapar a un jugador en posesión del balón. Por lo tanto, las pruebas son la del salto de potencia, que expresa más la «explosividad» del jugador, y la de 50 metros, y su velocidad (Fig. 9);
- fuerza máxima y asociada: la fuerza muscular puede definirse como la tensión que un músculo o, más exactamente, un grupo de músculos puede ejercer contra una carga. En un partido, esta cualidad se usa en todas sus formas: isométrica, anisométrica concéntrica, excéntrica y pliométrica, en todas las acciones del juego. Con excepción del quite del balón al adversario en los agrupamientos y del empuje en la melé, donde la fuerza puede expresarse en su máximo, en la mayoría de las acciones se asocia a otras cualidades como la velocidad, la resistencia muscular y/o la coordinación a nivel de los miembros inferiores, el tronco y los miembros superiores.

La segunda etapa consiste en conocer al deportista: puesto que ocupa, morfotipo, antecedentes, habilidades y objetivos. Así, la evaluación de sus capacidades permite establecer un programa de fortalecimiento muscular específico.

Esto se ilustra en el estudio de Cazorla et al [77]. Cabe señalar que, según el puesto, las exigencias sobre la fuerza muscular, la velocidad y la coordinación, así como sobre las capacidades aeróbicas y anaeróbicas, son diferentes.

Por consiguiente, reentrenar o fortalecer a un pilar en rugby, un atacante en fútbol, un alero en baloncesto o un defensor en rugby difiere según la rama y la estructura, en particular en la fase de reatletización. Es la individualización al servicio de la especificidad deportiva.

- Tipos de fortalecimiento: los diversos tipos de fortalecimiento se clasifican por especificidad y efectos (Cuadro 3) [78]:
 - el trabajo excéntrico mejora la fuerza concéntrica, pero lo contrario no se verifica [79]. Así, resulta que el fortalecimiento de un músculo con el método excéntrico es favorable a su antagonista [80];
 - numerosos autores recomiendan la especificidad del trabajo muscular y, en particular, del trabajo excéntrico para el fortalecimiento y el efecto protector. Esta mejora provendría de las diversas adaptaciones ya mencionadas.
- Métodos de desarrollo de la fuerza: se considera la existencia de tres métodos de desarrollo de la fuerza (Cuadro 4):
 - el método de esfuerzos máximos;
 - el método de esfuerzos repetidos;
 - el método de esfuerzos dinámicos.

En función de la tipología de fuerza buscada, del tipo de fortalecimiento y del método de desarrollo de la fuerza, se puede optimizar la planificación para una mejor distribución de las cargas y así pasar del volumen de trabajo a la intensidad máxima (Cuadro 5).

Cuadro 3.

Distintos tipos de fortalecimiento en rehabilitación.

Tipo de fortalecimiento	Principios	Objetivos	Métodos de desarrollo
Isométrico	Contracción estática	Permite aumentar la fuerza máxima sin aumento de masa	Hasta el cansancio o en estatodinámica
Concéntrico	Contracción con aproximación de las inserciones	Permite aumentar la potencia	Búlgaro, búlgaro en la serie, pirámide, prefatiga, posfatiga, voluntario
Excéntrico	Contracciones con alejamiento de las inserciones	Permite aumentar la fuerza máxima por adaptación neural específica	Excéntrico + concéntrico, 120-80
Isocinético	Contracciones con aproximación o alejamiento de las inserciones a velocidad constante	Permite hacer trabajar de forma selectiva algunas fibras según la velocidad y, por tanto, aumentar la fuerza máxima o la potencia	Concéntrico-concéntrico, concéntrico-excéntrico, excéntrico-excéntrico
Pliométrico	Usa la energía almacenada durante el movimiento excéntrico para restituirla durante el movimiento concéntrico	Provoca una contracción potente del músculo por reflejo protector de éste	Simple (saltos), alto, con carga
Electroestimulación	Estimulación eléctrica no selectiva y no fisiológica de las fibras musculares respecto al control voluntario	Aumento de fuerza	Corrientes excitomotoras asociadas a un trabajo concéntrico, excéntrico o pliométrico
Plataforma vibratoria	Utilización del reflejo tónico vibratorio	Aumento de fuerza	Asociación a un trabajo excéntrico

Cuadro 4.

Métodos de desarrollo de la fuerza.

Métodos	Repeticiones	Series	Recuperación	Ventajas	Inconvenientes
Esfuerzos máximos > 90% de la RM	1-3	4-7	7 min	Acción sobre los factores nerviosos Sincronización en un organismo fresco	Cargas pesadas Recuperación larga entre las sesiones
Esfuerzos repetidos Entre el 60-70% de la RM	5-7	6-16	5 min	Acción sobre los factores nerviosos y sobre la masa muscular	Repeticiones eficaces en un organismo cansado
Esfuerzos dinámicos < 40% de la RM	6-15	10-30	3 min	Acción sobre los factores nerviosos Acción sobre el aumento de fuerza	Poca acción sobre la fuerza Necesita muchas repeticiones

RM: repetición máxima.

■ Adaptaciones fisiológicas al fortalecimiento

La adaptación muscular (aumento del grosor de los filamentos musculares, el tamaño de los músculos y la fuerza de contracción) proviene de la exactitud de elección del tipo de carga, de la elección de los ejercicios y de los métodos de entrenamiento. Por lo tanto, es importante conocer los diversos modos de contracción, los que se producen en el deporte practicado, teniendo en cuenta que el control del movimiento se hace en modo excéntrico. Así, la planificación y la calibración del programa de rehabilitación son precisas y los progresos rápidos.

Ya que el tipo de fortalecimiento va a depender de la necesidad de determinada capacidad funcional del músculo durante el gesto deportivo, el músculo tendrá entonces distintas adaptaciones. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta la especificidad del trabajo muscular. El modo excéntrico se prioriza para tratar de mejorar la fuerza máxima, la velocidad de contracción, la hipertrofia y el aumento de la sección transversal del músculo [48, 81-83].

El trabajo pliométrico demuestra su importancia con [84]:

- un aumento del tamaño y de la estructura muscular;
- una rigidez tendinosa aumentada;
- una reducción de la disipación energética;

- un aumento de la conducción nerviosa hacia los músculos agonistas;
- un cambio en las estrategias de activación muscular relacionadas al ciclo estiramiento-acortamiento.

Estas adaptaciones producen un aumento de la fuerza máxima y de la potencia. Para un trabajo pliométrico en los miembros inferiores, estas adaptaciones permiten mejorar el tiempo de las aceleraciones, así como la economía de la carrera, y tener una acción preventiva (disminución de las fuerzas reactivas del suelo y mejoramiento de la proporción isquiosurales/cuádriceps) [85].

El esquema de Fukunaga (Fig. 10) muestra claramente la importancia de los procesos de reclutamiento en el aumento de la fuerza. También expresa las relaciones entre fenómenos nerviosos e hipertrofia.

El fortalecimiento se efectúa en primer lugar por el aumento de la intervención de los factores nerviosos sin hipertrofia muscular [86]. En un segundo tiempo, por la hipertrofia muscular, después de 8 semanas de fortalecimiento [87]. Sobre la duración total del programa, el aumento de fuerza es superior al de masa. Las cargas pesadas producen un aumento de la sección transversal de las fibras musculares [75].

Además de las diversas adaptaciones (anatómica, hipertrofia y nerviosa) [88], la coordinación técnica del gesto incide en la evaluación del fortalecimiento muscular. Esto explica el hecho de que el aumento de fuerza pueda lograrse sin la hipertrofia.

Cuadro 5.

Método de desarrollo en función de la elección de la fuerza requerida.

Fuerza				
Capacidad	Principio	Métodos	Características	Efectos
Fuerza máxima	Repeticiones Recuperación completa	Fuerza máxima	Carga máxima y submáxima Pocas repeticiones Ejecución rápida y explosiva	Coordinación intra e intermuscular Sincronización Reclutamiento
		Excéntrico	Cargas supramáximas Pocas repeticiones Ejecución lenta	Reclutamiento del conjunto de la unidad motora
		Isométrico	Contracción estática máxima Duración de 5-10 s 5-10 repeticiones	Fuerza máxima estática Construcción muscular
		Piramidal	Cargas variables y distintas Cargas medias y elevadas	Capacidad de adaptación al reclutamiento de las fibras
Potencia	Repeticiones Recuperación completa	Concéntrico	Cargas medias	Coordinación intra e intermuscular Velocidad de contracción
Velocidad	Repeticiones Recuperación completa	Velocidad	Cargas livianas Número de repeticiones medio Ejecución rápida Ejercicios parecidos al gesto deportivo Ejecución explosiva	Coordinación intra e intermuscular Velocidad de contracción Carga específica
Explosividad	Repeticiones Recuperación completa	Pliométrico	Excéntrico concéntrico Cargas livianas Saltos hacia abajo Saltos al mismo nivel	Coordinación intra- e intermuscular
Fuerza Resistencia	Repeticiones Recuperación completa	Cansancio muscular	Cargas medias Número de repeticiones elevado hasta el agotamiento Pausa entre 2-3 min	Resistencia para ejercicio de fuerza anaeróbica Tolerabilidad a la acidosis

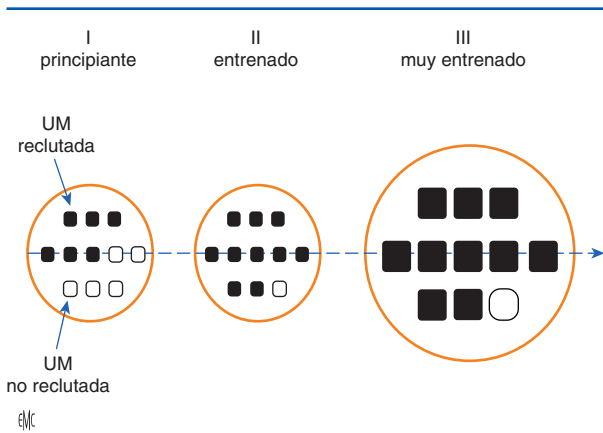


Figura 10. Esquema de Fukunaga: en primer lugar, aumento de fuerza por reclutamiento de las UM (unidades motoras) y después aumento de fuerza por hipertrofia. Situación I: el principiante recluta pocas fibras. Situación II: al cabo de algunas semanas, el número de UM reclutadas aumenta sin hipertrofia. Situación III: cuando el entrenamiento se prolonga, la hipertrofia es la principal responsable de los aumentos de fuerza.

Aunque las propiedades elásticas dependen efectivamente del tipo de fibra, el aumento de rigidez observado a continuación de un entrenamiento excéntrico en el varón podría estar relacionado con un enriquecimiento del músculo en fibras lentas.

■ Ejemplos de tratamiento de lesiones

Primer caso clínico: tratamiento de un jugador de rugby profesional 4 meses después de una ligamentoplastia

El ejemplo se refiere al tratamiento de un jugador profesional de rugby de 28 años, de la selección nacional de

Fiya, a los 4 meses de la cirugía. El traumatismo se produjo en el momento de una recepción de salto, solo. En la exploración física inicial se detecta un dolor posterolateral y una prueba de Lachman positiva con afectación del pivote central. La atención fue inmediata para limitar la hinchazón reactiva. Las pruebas complementarias han revelado lesión del ligamento cruzado anterior y un hematoma intraóseo. No se observa afectación meniscal ni lesión asociada.

Se toma la decisión de efectuar la cirugía 15 días más tarde. El cirujano escoge la técnica de Kenneth-Jones (injerto hueso-tendón con toma del tendón cuadriceps).

La rehabilitación clásica se realiza en el club de rugby y se desarrolla con normalidad durante los primeros 3 meses: trabajo trófico y circulatorio, tonificación y luego fortalecimiento muscular, trabajo articular y propioceptivo.

A los 3-4 meses de la intervención se efectúa una evaluación muscular, con aparato isocinético, con el fin de

permitir la reanudación de la carrera y la intensificación del fortalecimiento muscular. Además de medir la fuerza del cuádriceps (medida efectuada en modo dinámico concéntrico a 60°/s), se busca la fuerza de los isquiosurales (que son el principal garante activo del injerto) en modo dinámico excéntrico y se hace una secuencia a 240°/s en modo concéntrico cuádriceps-isquiosurales (30 repeticiones), para evaluar el cansancio muscular.

Esta prueba se ha realizado de manera bilateral para poder establecer una comparación entre el lado sano y el lado de la cirugía.

Los resultados revelan debilidad de la fuerza del cuádriceps y de los isquiosurales en relación con el lado sano, pero sin alteración de la proporción en razón del déficit proporcional de los músculos antagonistas.

A partir de este análisis se estableció un programa de fortalecimiento muscular basado en:

- la prueba;
- el puesto del jugador: central tres cuartos con un juego orientado a la exigencia física;
- la morfología: de origen fiyiano con fibras rápidas;
- las exigencias profesionales (fin de contrato) y personales (iba a ser padre dentro de los 2 meses siguientes a la lesión);
- el período de la temporada: lesión al principio que deja entrever una reanudación antes del final de la temporada actual.

Además del aporte isocinético dos veces por semana, el jugador tenía dos sesiones de carrera, tres sesiones de musculación de la parte superior del cuerpo, una sesión de apoyos, una sesión de musculación de la parte inferior del cuerpo y bloqueo.

Una de las dos sesiones isocinéticas se acoplaba con la musculación de la parte inferior del cuerpo y se realizaba hacia arriba, sin incluir trabajo de resistencia.

El fortalecimiento en isocinetismo no altera los principios del fortalecimiento muscular, sino únicamente el modo de contracción, y permite un reclutamiento máximo de las fibras musculares con una medición y una retroalimentación visual. Se pudo efectuar entonces una fase de potencia máxima y luego una fase de fuerza (Cuadro 6). El trabajo de la explosividad se realizó en el gimnasio y sobre el terreno.

A continuación de este programa de 6 semanas se hizo una evaluación con el mismo protocolo que la prueba inicial. El jugador pudo reintegrarse en el equipo, manteniendo una sesión de isocinetismo por semana como complemento del trabajo de fortalecimiento muscular de todo el equipo. La reanudación de los entrenamientos, primero sin contacto y después con contacto, se ha producido en alrededor del quinto mes y la competición en torno al sexto mes.

La vigilancia se realiza al final de la temporada para poder planificar un programa individual durante el período de descanso entre dos temporadas.

Segundo caso: lesión muscular recidivante de los isquiosurales en un atleta de alto rendimiento

Este segundo caso clínico se refiere a un velocista (8.º en la clasificación mundial) que sufre lesiones recidivantes de los isquiosurales desde sus primeros años de atletismo. Después de varias lesiones, de las cuales tres se produjeron en 2013-2014, los equipos técnico y médico decidieron ejecutar distintas secuencias para estabilizar y fortalecer los músculos isquiosurales. En primer lugar se planificó un protocolo de tres sesiones de rehabilitación isocinética por semana (en el laboratorio de biomecánica del Institut National du Sport de l'Excellence et de la Performance de Francia), que se efectuaban 2 días antes de las secuencias de musculación clásica. Entre octubre de 2014 y

noviembre de 2015 se obtuvieron mejorías significativas (Cuadro 7).

De forma paralela a este trabajo de fortalecimiento, con ayuda de una bailarina profesional se iniciaron ejercicios orientados a mejorar la movilidad de la pelvis y las movilidades articulares, enfocándose en la amplitud de los movimientos y el alargamiento. El objetivo de esta solicitud particular del entrenador era facilitar la disponibilidad corporal y dar fluidez al movimiento en las fases de carrera. Estas sesiones se desarrollaban 2 días a la semana por la mañana, en alternancia con el fortalecimiento isocinético, antes de los entrenamientos de aceleraciones cortas o largas.

Por último, se planificó un trabajo de estabilización y de control motor de la pelvis y la espalda, dirigido por el kinesiterapeuta antes de las sesiones técnicas.

Así, se convino en una planificación del trabajo semanal para la temporada 2014-2015 de acuerdo con el atleta, el entrenador, el kinesiterapeuta y la bailarina (Cuadro 8).

Durante el trabajo complementario, las sesiones de rehabilitación isocinética de fortalecimiento muscular se efectuaron con el programa informático Rhea 2000.

Estas sesiones respetan una organización simple del desarrollo de la fuerza con contenidos organizados de lo general a lo específico, con el objetivo de obtener un músculo más fuerte y más explosivo durante la temporada.

Esta programación se efectúa en dos fases distintas:

- la primera fase tiende a un incremento de la fuerza por aumento de la carga movilizada. Se busca la progresividad movilizando cargas cada vez más pesadas;
- durante la segunda fase se busca un incremento de la fuerza por un aumento de las aceleraciones. El atleta moviliza cargas cada vez más rápido.

La planificación del desarrollo de las cualidades de explosividad no debe, sobre todo, provocar una regresión de las otras cualidades. Por lo tanto, durante la temporada es necesario repetir ejercicios de fuerza máxima, en particular al acercarse las competiciones.

Ejemplos de protocolos de fortalecimiento muscular

(Cuadros 9 a 11)

Para ser lo más precisos posible en la calibración, también hay que conocer:

- el sistema energético dominante (aeróbico, anaeróbico láctico, aláctico y sus combinaciones);
- los factores restrictivos del desarrollo de la fuerza;
- el objetivo principal y el objetivo secundario del desarrollo de la fuerza;
- la planificación anual del deportista (entrenamientos, competiciones, transición).



■ Conclusión

El fortalecimiento muscular del deportista en rehabilitación es distinto al del mismo deportista en período de preparación física. Al respecto, el déficit de fuerza del deportista en rehabilitación está originado principalmente por la lesión o el dolor que impiden la expresión de la fuerza. Además del dolor o la lesión, también puede existir un déficit de fuerza anterior al traumatismo, que a su vez puede ser responsable de la lesión. El tratamiento del deportista lesionado se basa entonces en un doble enfoque, que consiste no sólo en el tratamiento de la lesión, sino también en un fortalecimiento muscular para paliar los posibles déficits de fuerza. Así, para este tratamiento es necesario conocer la miología y la fisiología de la contracción muscular, así como las exigencias deportivas y el análisis morfológico y funcional del deportista.

Cuadro 6.

Contenido de las sesiones de rehabilitación isocinética durante las fases de potencia y de fuerza en un jugador profesional de rugby.

Fase	Duración	Semana	Primera sesión	Segunda sesión
Fase potencia	3 semanas	S1	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: – 90°/s, 6 repet. – 120°/s, 7 repet. – 150°/s, 8 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 180°/s, 8 repet. – excéntrico, 2 series: 30°/s, 8 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: – 90°/s, 6 repet. – 120°/s, 7 repet. – 150°/s, 8 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 180°/s, 8 repet. – excéntrico, 2 series: 30°/s, 8 repet.
		S2	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: – 75°/s, 5 repet. – 90°/s, 6 repet. – 120°/s, 7 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 90°/s, 6 repet. – excéntrico, 2 series: 30°/s, 8 repet. Cuadri-isquiosurales: Concéntrico, 1 serie: 80°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: – 75°/s, 5 repet. – 90°/s, 6 repet. – 120°/s, 7 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 90°/s, 6 repet. – excéntrico, 2 series: 30°/s, 8 repet.
		S3	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: – 90°/s, 4 repet. – 120°/s, 5 repet. – 150°/s, 6 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 180°/s, 6 repet. – excéntrico, 2 series: 30°/s, 6 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 1 serie: 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: – 90°/s, 4 repet. – 120°/s, 5 repet. – 150°/s, 6 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 180°/s, 6 repet. – excéntrico, 2 series: 30°/s, 6 repet.
		S1	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 1 serie: 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet.
		S2	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 90°/s, 4 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 1 serie: 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 90°/s, 4 repet.
		S3	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 1 serie: 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet.
		S1	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 1 serie: 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 60°/s, 3 repet.
		S2	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 90°/s, 4 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 1 serie: 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 3 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 3 series: 90°/s, 4 repet.
		S3	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet. Cuadri-isquiosurales: concéntrico, 1 serie: 180°/s, 30 repet.	Cuádriceps: concéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet. Isquiosurales: – concéntrico, 1 serie: 60°/s, 3 repet. – excéntrico, 2 series: 60°/s, 4 repet.

Repet.: repetición.

Cuadro 7.

Medidas comparativas del momento de fuerza motriz de los isquiosurales en un atleta de alto rendimiento.

Fechas	Momento de fuerza en isquiosurales derechos (en número de momentos)	Momento de fuerza en isquiosurales izquierdos (en número de momentos)	Déficit derecho/izquierdo (en porcentaje)
Octubre 2014	158	199	26
Febrero 2015	203	277	36
Abril 2015	240	260	8
Noviembre 2015	280	300	7

Cuadro 8.

Planificación de las actividades en función de los días y de las diversas fases para el período 2014-2015.

Fase		Fase 1 (8 semanas)	Fase 2 (8 semanas)	Específico (4-6 semanas)
Día	Tipo	Desarrollo	Desarrollo Precompetición	Competición
Lunes		Trabajo isocinético Musculación	Trabajo isocinético Musculación Técnica de carrera	Musculación
Martes		Trabajo de movilización Trabajo técnica de carrera	Aceleración corta	Aceleración larga
Miércoles		Trabajo isocinético Musculación Estabilización y control motor de cadera, pelvis, espalda	Trabajo isocinético Musculación Estabilización y control motor de cadera, pelvis, espalda	Musculación Estabilización y control motor de cadera, pelvis, espalda
Jueves		Trabajo de movilización Trabajo de carrera	Trabajo de movilización Aceleración larga	Aceleración corta
Viernes		Trabajo isocinético Musculación	Trabajo isocinético Musculación	Musculación
Sábado		Trabajo técnica de carrera	Trabajo técnica de carrera	Trabajo de carrera
Domingo		Descanso	Descanso o competiciones	Competiciones

Cuadro 9.

Calibración de la potencia máxima.

Semana	S1			S2			S3		
Objetivo dominante	Potencia máxima								
Tipo de ciclo	Desarrollo								
Duración del ciclo	3 semanas								
Número de sesiones	2-3								
Descripción	Mantener la velocidad de ejecución								
Intensidad (% en función de 1RM)	70%	60%	50%	80%	70%	60%	70%	60%	50%
Repeticiones	6	7	8	5	6	7	4	5	6
Series	2			2			2		

Cuadro 10.

Calibración de la fuerza máxima.

Semana	S1			S2			S3		
Objetivo dominante	Fuerza máxima								
Tipo de ciclo	Desarrollo								
Duración del ciclo	3 semanas								
Número de sesiones	3								
Descripción	Intensidad elevada, por tanto, se realiza con otra persona								
Intensidad (% en función de la 1RM)	85%			90%			85%		
Repeticiones	4			3			4		
Series	3			3			2		

Cuadro 11.

Calibración de la explosividad.

Semana	S1			S2			S3		
Objetivo dominante	Explosividad								
Tipo de ciclo	Desarrollo								
Duración del ciclo	3 semanas								
Número de sesiones	1								
Descripción	Excéntrico lento y después concéntrico rápido			Excéntrico lento y después salto de potencia			Salto hacia abajo, después concéntrico rápido y después saltos en escalones		
Intensidad (% en función de la 1RM)	70%	65%	60%	60%	50%	40%	70%	60%	50%
Repeticiones	5	6	7	6	7	8	5	6	7
Series	2			2			2		

La primera etapa del tratamiento de este tipo de deportistas es la evaluación de los parámetros, con el fin de optimizar el fortalecimiento muscular y disminuir el riesgo de recidiva. El uso de sistemas isocinéticos asegura la calidad de la evaluación de los parámetros de fuerza, potencia y velocidad. Además, permite tratar los distintos tipos de contracción (concéntrica, isométrica y excéntrica) en función del tipo de patología. Por último, los progresos del deportista se evalúan gracias a las retroalimentaciones visuales que proporciona la máquina en las sesiones de entrenamiento.

Una mayor fuerza muscular se asocia de forma notable a una mejora de los rendimientos deportivos en ejercicios de salto, aceleraciones y cambio de direcciones, así como en situaciones deportivas específicas. También reduce el riesgo de lesiones. La estrategia de aplicación del fortalecimiento muscular permite un desarrollo máximo de la fuerza en función de cada deporte ^[89].

Los ejemplos de tratamiento del deportista de alta competición son numerosos y han demostrado su eficacia en deportes individuales y colectivos. Asociados a una buena higiene de vida (recuperación, alimentación y sueño), permiten al deportista volver rápido a su mejor nivel de competición y evitar cualquier recidiva ^[90-94].



Bibliografía

- [1] Bleakley CM, Glasgow PD, Philipps P, for the association of chartered Physiotherapists. *Sports And Exercise Medicine (Acpsm). Guidelines on the management of acute soft tissue injury using protection rest ice compression and elevation*. London: ACPSM; 2011. p. 15–21.
- [2] Bleakley CM, Glasgow P, Macauley DC. Price needs updating, should we call the police? *Br J Sports Med* 2012;**46**:220–1.
- [3] Janssen KW, van Mechelen W, Verhagen EA. Bracing superior to neuromuscular training for the prevention of self-reported recurrent ankle sprains: a three-arm randomised controlled trial. *Br J Sports Med* 2014;**48**:1235–9.
- [4] Lin CW, Uegaki K, Coupé VM, Kerkhoffs GM, van Tulder MW. Economic evaluations of diagnostic tests, treatment and prevention for lateral ankle sprains: a systematic review. *Br J Sports Med* 2013;**47**:1144–9.
- [5] Hiller C, Kilbreath S, Refshauge K. Chronic ankle instability: evolution of the model. *J Athlet Train* 2011;**46**:133–41.
- [6] Kerkhoffs GM, van den Bekerom M, Elders LA, van Beek PA, Hullegie WA, Bloemers GM, et al. Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: an evidence-based clinical guideline. *Br J Sports Med* 2012;**46**:854–60.
- [7] Porter DA, Jaggars RR, Barnes AF, Rund AM. Optimal management of ankle syndesmosis injuries. *Open Access J Sports Med* 2014;**5**:173–82.
- [8] Lephart S, Pincivero D, Giraido J, Fu F. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med* 1997;**25**:130–7.
- [9] Malliaropoulos N, Papalexandris S, Papacostas E, Mafuli N. Acute lateral ankle sprains: healing process and acceleration of rehabilitation. *Int J Med* 2008, <https://intermedjournal.files.wordpress.com/2009/04/original-article-malliaropoulos-et-al-page-39.pdf>.
- [10] Mace Y. Processus de réparation osseuse : conséquences sur le délai de mise en contrainte. Cofemer, 2007.
- [11] Électrostimulation et gain de force musculaire. *Ann Readapt Med Phys* 2008;**51**:441–51.
- [12] Bax L, Staes F, Verhagen A. Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med* 2005;**35**:191–212.
- [13] Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A. Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training. *Eur J Appl Physiol* 2006;**97**:165–73.
- [14] Herrero JA, Izquierdo Maffiuletti NA, Garcia-Lopez J. Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *Int J Sports Med* 2006;**27**:533–9.
- [15] Maffiuletti NA, Zory R, Miotti D, Pellegrino MA, Jubeau M, Bottinelli R. Neuromuscular adaptations to electrostimulation resistance training. *Am J Med Rehabil* 2006;**85**:167–75.
- [16] Requena Sanchez B, Padijal Puche P, Gonzales-Badillo JJ. Percutaneous electrical stimulation in strength training: an update. *J Strength Cond Res* 2005;**19**:438–48.
- [17] Thornton GM, Hart DA. The interface of mechanical loading and biological variables as they pertain to the development of tendinosis. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2011;**11**:94–105.
- [18] Scott A, Docking S, Vicenzino B, Alfredson H, Murphy RJ, Carr AJ, et al. Sports and exercise related tendinopathies: review of selected topical issues by participants of the second International Scientific Tendinopathy Symposium (ISTS) Vancouver 2012. *Br J Sports Med* 2013;**47**:536–44.
- [19] Schectman H, Bader DL. Fatigue damage of human tendons. *J Biomech* 2002;**35**:347–53.
- [20] Bojsen-Moller J, Hansen P, Aagaard P. Differential displacement of the human soleus and medial gastrocnemius aponeuroses during isometric plantar flexor contractions in vivo. *J Appl Physiol* 2004;**97**:1908–14.
- [21] Kutsumi K, Amadio PC, Zhao C. Gliding resistance of the extensor pollicis brevis tendon and abductor pollicis longus tendon within the first dorsal compartment in fixed wrist positions. *J Orthop Res* 2005;**23**:243–8.
- [22] Woodley B, Newsham-West R, Baxter D. Chronic tendinopathy: effectiveness of eccentric exercise. *Br J Sports Med* 2007;**41**:188–98.
- [23] Knobloch K. Eccentric training in Achilles tendinopathy: is it harmful to tendon microcirculation? *Br J Sports Med* 2007;**41**:E4.
- [24] Langberg H, Ellingsgaard H, Madsen T. Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis. *Scand J Med Sci Sports* 2007;**17**:61–6.
- [25] Mahieu NN, Mcnair P, Cools A, D'Haen C, Vandermeulen K, Witvrouw E. Effect of eccentric training on the plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc* 2008;**40**:117–23.
- [26] Stanish W, Rubinovich M, Curwin S. Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clin Orthop* 1986;**208**:65–8.
- [27] Alfredson H, Pietilä T, Johnsson P, Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sport Med* 1998;**26**:360–6.
- [28] Alfredson H. The chronic painful Achilles and patellar tendon: research on basic biology and treatment. *Scand J Med Sci Sports* 2005;**15**:252–9.
- [29] Purdam C, Johnson P, Alfredson H, Lorentzon R, Cook J-L, Khan K. A pilot study of eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *Br J Sports Med* 2004;**38**:395–7.
- [30] Croisier J, Forthomme B, Foidart-Dessalle M, Godon B, Crieelard JM. Treatment of recurrent tendinitis by isokinetic eccentric exercises. *Isokin Sci* 2001;**9**:133–41.
- [31] Gehlsen GM, Ganion LR, Helfst R. Fibroblast responses to variation in soft tissue mobilization pressure. *Med Sci Sports Exerc* 1999;**31**:531–5.
- [32] De Labareyre H, Saillant G. Tendinopathies calcanéennes. Formes cliniques et évaluation de l'efficacité par ondes de choc radiales. *J Traumatol Sport* 2001;**18**:56–69.
- [33] Chang Hy, Cheng SC, Lin CC, Chou KY, Gan SM. The effectiveness of kinesio taping for athletes with medical elbow epicondylar tendinopathy. *Int J Sports Med* 2013;**34**:1003–6.
- [34] Simsek HH, Balki S, Kecl SS, Öztürk H, Elden H. Does kinesio taping in addition to exercise therapy improve the outcomes in subacromial impingement syndrome? A randomized, double-blind controlled clinical trial. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2013;**47**:104–10.
- [35] Christel P, De Labareyre H, Thelen P, De Lecluse J. Pathologie traumatique du muscle strie. *Ann Readapt Med Phys* 2005;**48**:3–16.
- [36] Diaz JA, Fischer DA, Rettig AC, Davis TJ, Shelbourne KD. Severe quadriceps muscle contusions in athletes: a report of three cases. *Am J Sports Med* 2003;**31**:289–93.
- [37] Ekstrand J, Häggglund M, Walden M. Injury incidence and injury patterns in professional football: The Uefa Injury Study. *Br J Sports Med* 2011;**45**:553–8.

- [38] Walden M. UEFA Champions League Study: a prospective study of injuries in professional football during the 2001-2002 season. *Br J Sports Med* 2005;**39**:542-6.
- [39] Dvorak J, Junge A, Derman W, Schweltnus M. Injuries and illnesses of football players during the 2010 FIFA World Cup. *Br J Sports Med* 2011;**45**:626-30.
- [40] Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The Association Football Medical research program: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med* 2001;**35**:43-7.
- [41] Alonso JM, Junge A, Renström P, Engebretsen L, Mountjoy M, Dvorak J. Sports injuries surveillance during the 2007 IAAF world athletics championships. *Clin J Sport Med* 2009;**19**:26-32.
- [42] Asking CM, Tengvar M, Saartok T, Thorntensson A. Acute first-time hamstring strains during high-speed running: a longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. *Am J Sports Med* 2007;**35**:197-206.
- [43] Foreman TK, Addy T, Baker T, Burns J, Hill N, Madden T. Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: a systematic review. *Phys Ther Sport* 2006;**7**:101-9.
- [44] Malliaropoulos N, Papacostas E, Kiristi O, Papalada A, Gougoulas N, Maffuli N. Posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am J Sports Med* 2010;**38**:1813-9.
- [45] Järvinen TA, Järvinen TL, Kääriäinen M, Kalimo H, Järvinen M. Muscle injuries biology and treatment. *Am J Sports Med* 2005;**33**:745-64.
- [46] Huard J, Li Y, Fu FH. Muscle injuries and repair: current trends in research. *J Bone Joint Surg Am* 2002;**84**:822-32.
- [47] Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med* 2008;**36**:1469-75.
- [48] Middleton P, Montero C. Le travail musculaire excentrique : intérêt de la prise en charge thérapeutique du sportif. *Ann Readapt Med Phys* 2004;**47**:282-9.
- [49] Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sports* 2008;**18**:40-8.
- [50] Brockett C, Morgan D, Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc* 2001;**33**:783-90.
- [51] Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG. The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian rules football players. *Br J Sports Med* 2005;**39**:63-8.
- [52] Asmussen E. Observations on experimental muscular soreness. *Acta Rheum Scand* 1956;**2**:109-16.
- [53] Cheung K, Hume PA, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med* 2003;**33**:145-64.
- [54] Clarkson MP, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 1992;**24**:512-20.
- [55] Pinheiro JP. Paramètres d'évaluation du programme de rééducation du ligament croisé antérieur. Les mesures de la qualité et de la reprise de l'activité. En: De Sèze S, Held JP, Revel JP, Revel M, editores. *Rééducation 1998. Journées de médecine physique et de rééducation*. Paris: Expansion scientifique française; 1998. p. 87-90.
- [56] Gal C. Rééducation après ligamentoplastie du LCAE : bases scientifiques. Aspect pratique. *Kinesither Sci* 1999;(n°388):7-20.
- [57] Haute Autorité de santé. Critères de suivi en rééducation et d'orientation en ambulatoire ou en soins de suite ou de réadaptation après ligamentoplastie du croisé antérieur du genou. Janvier 2008.
- [58] Consensus sur la rééducation du genou après ligamentoplastie du croisé antérieur. Consensus obtenu à partir de plus de 30 protocoles de rééducation ou des chirurgiens orthopédistes, des données de la Haute Autorité de santé, des confrontations entre professionnels au Centre Maguelone de Castelnau-le-lez le 20 novembre 2004 et dans le cadre des 23^e entretiens de médecine physique et de réadaptation. Montpellier, 2 mars 2005. 2005.
- [59] Dargel J, Gotter M, Mader K, Pennig D, Koebke J, Schmidt-Wiethoff. Biomechanics of the cruciate ligament and implications for the surgical reconstruction. *Strat Traum Limb Recon* 2007;**2**:1-12.
- [60] Pocholle M. L'isocinétisme aujourd'hui : les tests, évolution des pratiques professionnelles. *Ann Kinesither* 2001;**28**:208-21.
- [61] Cometti G. Les méthodes modernes de musculation, Tome 1, Données théoriques, UFR STAPS, Université de Bourgogne, Dijon, 1989. 350p.
- [62] Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med* 2007;**37**:145-68.
- [63] Tortora G, Derrickson B. *Principe d'anatomie et de physiologie*. Bruxelles: De Boeck; 2007.
- [64] Harridge S, Bottinelli R, Canepari M, Pellegrino MA, Reggiani C, Esbjornsson M, et al. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflugers Arch* 1996;**432**:913-20.
- [65] Bottinelli R, Pellegrino MA, Canepari M, Rossi R, Reggiani C. Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study. *J Electromyogr Kinesiol* 1999;**9**:87-95.
- [66] Wilmore J, Costill D. Physiological adaptations to physical training. 2002.
- [67] Aagaard P, Andersen JL. Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc* 1998;**30**:1217-22.
- [68] Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, Leffers AM, Wagner A, Magnusson SP, et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 2001;**534**:613-23.
- [69] Blazevich AJ, Giorgi A. Effect of testosterone administration and weight training on muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc* 2001;**33**:1688-93.
- [70] Kanehisa H, Nagareda H, Kawakami Y, Akima H, Masani K, Kouzaki M, et al. Effects of equivalent isometric training programs comprising medium or high resistance on muscle size and strength. *Eur J Appl Physiol* 2002;**87**:112-9.
- [71] Seynnes OR, De Boer M, Narici MV. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol* 2007;**102**:368-73.
- [72] Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-M sprinters. *J Appl Physiol* 2000;**88**:811-6.
- [73] Semmler JG. Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2002;**30**:8-14.
- [74] Lacour JR. Aspects biomécaniques de la contraction musculaire. *Ann Kinesither* 2001;**28**:193-5.
- [75] Bompa TO. Theory and methodology of training: the key to athletic performance. Kendall, Derrick Jones; 1983.
- [76] Boyas S, Guevel A. La fatigue neuromusculaire du muscle sain, facteurs d'origine et mécanismes d'adaptation. *Ann Readapt Med Phys* 2011;**54**:88-108.
- [77] Cazorla G, Boussaidi L, Godemet M. Évaluation du rugby-man sur le terrain. Faculté des sciences du sport et de l'éducation physique. Université Victor Segalen Bordeaux-2; 2007.
- [78] Morissey MC, Harman EA, Johnson M. Resistance training modes: specificity and effectiveness. *Med Sci Sports Exerc* 1995;**27**:648-60.
- [79] Ellenbecker TS, Davies GJ, Rowinski MS. Concentric versus eccentric isokinetic strengthening of the rotator cuff: objective data versus functional test. *Am J Sports Med* 1988;**16**:64-70.
- [80] Singh M, Karpovich PV. Effects of eccentric training of agonists on antagonistic muscles. *J Appl Physiol* 1967;**23**:742-5.
- [81] Mannheimer Js. A comparison of strength gain between concentric and eccentric contractions. *Phys Ther* 1969;**49**:1207-11.

- [82] Kaminski T, Wabbersen C, Murphy R. Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *J Athlet Train* 1998;**33**:216–21.
- [83] Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, Mckinnon P, Shadgan B, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 2009;**43**:556–68.
- [84] Bedoya AA, Miltenberger MR, Lopez RM. Plyometric training effects on athletic performance in youth soccer athletes: a systematic review. *J Strength Cond Res* 2015;**29**:2351–60.
- [85] Booth M, Orr R. Effects of plyometric training on sports performance. *Strength Cond J* 2016;**38**:30–7.
- [86] Sale DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 1988;**20**:S135–45.
- [87] Komi PV. Training of muscle strength and power: interaction of neuromotric, hypertrophic and mechanical factors. *Int J Sports Med* 1986;**7**(Suppl. 1):10–5.
- [88] Duncan PW, Chandler JM, Cavanaugh DK. Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;**11**:74–81.
- [89] Suchomel T, Nimphius S, Stone M. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med* 2016;**46**:1419–49.
- [90] Tipton K. Nutritional support exercise-induced injuries. *Sports Med* 2015;**45**:93–104.
- [91] Milewski MD, Skaggs DL, Bishop GA, Pace JL, Ibrahim DA, Wren TA, et al. Chronic lack of sleep is associated with increased sports injuries in adolescent athletes. *J Pediatr Orthop* 2014;**34**:129–33.
- [92] Swinbourne R, Gill N, Vaile J, Smart D. Prevalence of poor sleep quality, sleepiness and obstructive sleep apnoea risk factors in athletes. *Eur J Sports Sci* 2016;**16**:850–8.
- [93] Von Rosen P, Frohm A, Kottorp A, Friden C, Heijne A. Too little sleep and an unhealthy diet could increase the risk of sustaining a new injury in adolescent elite athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2016 [Epub ahead of print].
- [94] Abaïdia AE, Lamblin J, Delecroix B, Leduc C, McCall A, Nédélec M, et al. Recovery from exercise-induced muscle damage: cold water immersion versus whole body cryotherapy. *Int J Sports Physiol Perform* 2016:1–23 [Epub ahead of print].

L. Hubert, Masseur-kinésithérapeute du sport, manager de la performance (lolohube@gmail.com).

Service de médecine physique et réadaptation, Hôpital d'instruction des Armées Percy, 101, avenue Henri-Barbusse, 92140 Clamart, France.

10, rue de la Libération, 78350 Jouy-en-Josas, France.

G. Ontanon, Entraîneur d'athlétisme de haut niveau.

Institut national du sport, de l'expertise et de la performance, 11, avenue de Tremblay, 75012 Paris, France.

J. Slawinski, Maître de conférences.

UFR STAPS, Université Paris-Nanterre, CeRSM EA 2931, 200, avenue de la République, 92000 Nanterre, France.

Cualquier referencia a este artículo debe incluir la mención del artículo: Hubert L, Ontanon G, Slawinski J. Principios del fortalecimiento muscular: aplicaciones en el deportista en rehabilitación. *EMC - Kinesiterapia - Medicina física* 2017;**38**(3):1-16 [Artículo E – 26-055-A-10].

Disponibles en www.em-consulte.com/es



Algoritmos



Ilustraciones complementarias



Videos/ Animaciones



Aspectos legales



Información al paciente



Informaciones complementarias



Auto-evaluación



Caso clínico