

Ejercicios excéntricos

Pardo-Ibáñez A ^{1,2}, Koral J¹

1. Centro Internacional de Rehabilitación del deportista. La Calderona
2. Universidad Católica de Valencia. Ciencias de la Educación. Actividad Física y Deporte.

La manifestación excéntrica de la contracción muscular consiste en la asociación de un estiramiento muscular y una contracción muscular. Tradicionalmente en el mundo del entrenamiento, el trabajo excéntrico ha sido planteado a partir de cargas superiores a 1 repetición máxima (1RM), ya que la contracción muscular excéntrica tiene la capacidad de generar más fuerza que la contracción concéntrica (Komi y Buskirk, 1972). Asimismo, la fuerza realizada durante una contracción excéntrica puede ser hasta un 30% superior a la fuerza máxima isométrica (Schmidbleicher y Buhrle, 1987).

El número de unidades motrices reclutadas en un trabajo excéntrico es menor que el solicitado ante una carga igual en una contracción isométrica o concéntrica, por lo que cada unidad motriz necesita producir una fuerza superior, y sus fibras musculares soportan mayor carga (Hakkinen et al., 1987, Aagaard et al., 2000; McHugh et al., 2000).

Según Piazzesi et al., (2007) cuando se contraen de forma voluntaria las fibras musculares, sólo la mitad de las cabezas de miosina se unen sobre los filamentos de actina, pero si al mismo tiempo de producirse la contracción, la musculatura está estirada, se observa que nuevas cabezas de miosina vienen a reforzar la acción de las primeras para ayudar ante la tensión demandada.

En adición, el trabajo muscular excéntrico, al compararlo con el isométrico y el concéntrico, presenta valores inferiores en relación a diferentes parámetros como la frecuencia cardiaca, la concentración de lactato en sangre o la presión arterial (Carrasco et al., 1999; Durand et al., 2003).

Algunos autores han indicado que tras un entrenamiento excéntrico se observa una pérdida de fuerza explosiva durante periodos superiores a 24 horas (principalmente en personas o deportistas que no están acostumbrados al mismo), y la posibilidad de inducir daño muscular (McHugh et al., 2000; Byrne, et al., 2004; Mjøltnes et al., 2004; García-López et al., 2006; Arnason et al., 2008). No obstante, en sujetos experimentados o familiarizados con este tipo de trabajos las pérdidas de fuerza y el daño muscular parecen ser inferiores e incluso se ha apuntado que el propio entrenamiento excéntrico promueve mecanismos de protección frente al daño muscular si la intensidad de trabajo es suficientemente alta (Clarkson et al., 1992; Faulkner et al., 1993; Michaut et al., 2004; García-López et al., 2007).

Entre los beneficios, el entrenamiento excéntrico de corta duración reporta mejoras significativas en las diferentes manifestaciones de la fuerza (concéntrica, isométrica y excéntrica) (Atha, 1981).

Si bien el entrenamiento de la fuerza ha sido un aspecto a desarrollar dentro del campo del rendimiento deportivo, en el ámbito de la rehabilitación son numerosos los trabajos que proponen el desarrollo de programas de trabajo excéntrico frente a problemas músculo-tendinosos.

En relación a las tendinopatías, se ha incorporado el trabajo excéntrico como medio de prevención y recuperación de esta lesión. Las localizaciones más habituales se presentan en el tendón rotuliano, el tendón de Aquiles, el tendón del manguito de los rotadores, y en los tendones de los epicóndilos medial y lateral del codo (Cannell et al., 2001; Cook & Khan, 2001; Silbernagel et al., 2001; Wilson et al., 2005).

Las actividades o deportes donde las acciones a desarrollar son explosivas (i.e. saltos, cambios de dirección, cambios de ritmo, etc.) y/o se presentan de manera reiterada, son contextos donde se incrementa el riesgo de padecer una lesión tendinosa. Entre las posibles causas lesivas podemos encontrar problemas morfoestáticos, una incorrecta ejecución técnica, material en malas condiciones (factores biomecánicos), una excesiva demanda de la fuerza, principalmente a nivel de sollicitación excéntrica bien sea por reiteración de la misma o por las intensidades requeridas, desequilibrios

musculares, retracción muscular (factores condicionales) o por las propias características del deporte que somete al deportista a conductas adaptativas en función de los movimientos de compañeros y adversarios, normalmente en relación a un móvil (factores relacionales).

La intensidad, la velocidad, la frecuencia y la duración de la fuerza son factores que afectan a la capacidad del tendón para adaptarse a la tensión (Cook et al., 2004).

La realización de ejercicios con tensiones de alta intensidad o de manera muy repetitiva así como sobrecargas excéntricas demasiado exigentes en los periodos iniciales de la temporada, son aspectos que incrementan el riesgo de sufrir tendinopatías.

Existen otros factores que pueden influir en la frecuencia y gravedad de la lesión como son el género, la edad, el grupo sanguíneo o el perfil genético, entre otros. Así, sujetos varones mayores de 25 años (a partir de esta edad la metabolización del colágeno se ralentiza) con un grupo sanguíneo 0 y un perfil genético COL5A1-TNC tienen un mayor riesgo de sufrir una tendinopatía (Basas, 2010).

Ante este tipo de lesión actualmente no se recomienda la inmovilización, debido a los problemas derivados de la misma, para el tratamiento de las tendinopatías. La inmovilización conlleva una disminución drástica en la carga y en consecuencia de las demandas de tensión en el tendón, y ello comporta una pérdida rápida del área cruzada de sección, el módulo y la fuerza (Wren et al., 2000). La inmovilización completa de un tendón lesionado está contraindicada, porque la tensión de carga estimula directamente la producción de colágeno y su alineación (Khan et al. 2000). Asimismo, supone una alteración en la composición bioquímica del tendón (Donatelli, 1981; Postlethwaite, 1989, Järvinen et al., 1997).

En el ámbito de la prevención y la readaptación deportivas se ha incorporado el empleo de trabajos excéntricos ante lesiones miotendinosas.

Según Stanish (1986), los tendones responden al estrés progresivo y controlado, como el que puede exigir la realización de un trabajo excéntrico, incrementando su fuerza para soportar tensiones, por tanto, deben ser

planteadas actividades con solicitaciones progresivas a nivel tendinoso para su preparación.

Stanton et. al. (1989) indican como factor predictivo para la lesión el déficit de fuerza excéntrica. No obstante, la carga excéntrica juega un papel importante tanto en la etiología como en el tratamiento de las tendinopatias. A través del entrenamiento adecuado podemos mejorar la capacidad de resistencia a la tracción en el tendón.

En esta línea, Kjaer et al. (2005), indican cómo un programa de ejercicio excéntrico afecta a la producción de colágeno de tipo I y, en ausencia de actividades agresivas paralelas, puede aumentar el volumen del tendón a largo plazo.

Parece evidente la necesidad de plantear trabajos de prevención en función de las demandas o características del deporte y de las características del sujeto con el que estamos entrenando, donde se tengan en cuenta los diferentes factores anteriormente expuestos. Por ello, es necesario evitar periodos prolongados de inactividad al finalizar las temporadas y someter a estímulos mecánicos a la estructura miotendinosa, de manera progresiva, al comienzo de la temporada. En esta línea son numerosos los autores que proponen mejorar la protección miotendinosa mediante la adaptación al ejercicio excéntrico, (Hawary, Stanish y Curwin 1997; Alfredson, 2000; Croisier, 2002; Askling, et al., 2003; Rees, 2008).

A pesar de lo expuesto hasta ahora debemos ser conscientes de que la contracción muscular excéntrica raramente ocurre de forma aislada, sino que aparece integrada en la secuencia de ciclo estiramiento-acortamiento.

Para realizar trabajos polarizando la atención sobre la fase de frenado o excéntrica, podemos valernos de diferentes estrategias:

- a) Emplear una tecnología que nos facilite la fase concéntrica devolviendo la carga al punto de partida.
- b) Trabajar con porcentajes inferiores al de 1RM modulando la velocidad de ejecución (lenta) y establecer el número de series y repeticiones en función de los porcentajes de trabajo.

- c) Dividir la acción y polarizar la atención sobre la fase excéntrica del movimiento
- d) Recibir ayuda externa (compañeros) para hacer la fase concéntrica del movimiento.
- e) Oposición manual de un compañero y acción de frenado por parte del sujeto que trabaja.
- f) Trabajar la manifestación excéntrica en cadena cinética cerrada y/o abierta.
- g) Trabajar sobre planos inclinados o superficies inestables para incrementar o facilitar la localización del trabajo en función de la articulación implicada.
- f) Emplear material y aprovechar diferentes recursos en función del grupo muscular a trabajar, la amplitud de trabajo y la intensidad o velocidad con que se demande el mismo.

En definitiva, debemos ser capaces de desarrollar nuestro trabajo aprovechando los medios disponibles. La propuesta es ser creativos: diseñar situaciones, aprovechar el material que tenemos, etc., no permitiendo que las situaciones planteadas puedan ser potencialmente peligrosas, incrementando los riesgos de daño.

Entre los medios, para el desarrollo del trabajo excéntrico podemos encontrar las máquinas isocinéticas, las yo-yo máquinas o inerciales y desarrollar trabajos sin apoyo tecnológico de control.

a) Máquinas isocinéticas

La utilización de las máquinas isocinéticas comenzó en los años 60 en Estados Unidos y hacia los años 80 en Europa. La máquina isocinética es un artromotor que ajusta de forma automática la resistencia del movimiento a una velocidad constante, acomodándose a la capacidad de generar fuerza de los músculos en función de los diferentes ángulos de trabajo. En adición, nos permite controlar los parámetros de esfuerzo, proporcionando un feedback sobre la ejecución en tiempo real, aspecto que permite adecuar con bastante precisión sobre las cargas de trabajo.

Dentro del trabajo con este tipo de instrumentos podemos desarrollar trabajos donde se demanden contracciones concéntricas, isométricas o excéntricas.

En el diseño del trabajo preventivo, y en la readaptación de lesiones tendinosas se emplea el trabajo isocinético pasivo para solicitar la acción excéntrica de la musculatura, a diferentes velocidades de trabajo programadas. En esta línea, Stanish (1986) usa un protocolo consistente en trabajar a diferentes velocidades (30°,60°,90°). Para realizar el trabajo propone la realización de un test máximo por parte del deportista (que estará condicionado por su estado funcional actual) y luego desarrollar un trabajo por debajo del mismo con intensidades del 30%, 50% y 70% del pico de fuerza máximo registrado. Este tipo de trabajos parece inducir menos daño muscular que el ejercicio excéntrico inercial (Kellis y Baltzopoulos, 1995).

El planteamiento del trabajo desde el ámbito de la prevención, puede justificarse por detectar un déficit agonista-antagonista, realizándose una vez a la semana cuando los sujetos participan en disciplinas de largo periodo competitivo (ligas regulares), o con alternancias de un día de trabajo y 2 ó 3 de descanso ante deportistas que tienen pocas competiciones anualmente o están en el proceso de recuperación tras una lesión.

Ante sujetos sin déficits importantes, hemos incluido en nuestro centro una modificación del protocolo anterior, diseñando un trabajo de contraste, que consiste en la realización de movilizaciones de cargas a diferentes velocidades y, posteriormente, intensidades en la misma, implicando a la estructura tendinosa a soportar diferentes grados de tensión, tratando de acercarnos a la especificidad de las diferentes situaciones de juego.

b) Máquinas inerciales (yo-yo máquinas)

Las máquinas inerciales son diseñadas por Berg y Tesch, investigadores del Instituto Karolinska de Estocolmo (Tous, 1999). En un principio este tipo de máquinas surgen por el problema de pérdida de masa muscular y fuerza por parte de los astronautas en sus expediciones por causa de la ingravidez. Consisten en un ergómetro que ofrece una resistencia independiente de la gravedad, gracias al empleo de las fuerzas inerciales de una polea-rueda especial. El mecanismo es semejante al de un yo-yo. En un principio se aplica una fuerza concéntrica y después, el cable unido a la rueda vuelve a su posición inicial implicando una acción muscular excéntrica contra la citada

fuerza. Podemos decir, por tanto, que se dan ciclos de trabajo de acortamiento-estiramiento.

Realmente el control de la intensidad del ejercicio es de gran importancia para ajustar las cargas de trabajo (encoders, acelerómetros, plataformas de fuerza,...), aunque en la mayoría de las situaciones es complicado tener acceso a este tipo de tecnología.

c) Trabajos sin apoyo tecnológico de control

El problema del desarrollo de este trabajo reside principalmente en la falta de control de los mismos, aspecto que en las dos planteamientos presentados, nos permitía estar evaluando la respuesta en tiempo real, y ajustar de forma más precisa el número de series, repeticiones, etc.

El desarrollo de una batería de ejercicios en este ámbito es posiblemente el más importante, ya que es el que todos los profesionales podemos emplear, y pueden realizarse sin necesidad de material auxiliar.

Para el diseño de las propuestas de trabajo, clasificamos los ejercicios bajo cuatro grandes apartados:

- Trabajo analítico: se descompone el gesto, realizándose sólo la sollicitación muscular excéntrica
- Trabajo propioceptivo: los tendones tienen una inervación importante que participa en la propiocepción, y en este sentido la sollicitación de los mismos será parte importante del trabajo
- Trabajo global con polarización de la atención en la fase excéntrica: se realiza el ciclo estiramiento-acortamiento, sin exigencias en la fase concéntrica. El movimiento termina en muchas situaciones en trabajo isométrico.
- Trabajo global reactivo: hay una exigencia tanto en la fase excéntrica como concéntrica, incidiendo en la amplitud del movimiento y la velocidad del mismo en ambas fases del trabajo. Este tipo de situaciones serán planteadas en las últimas fases del proceso de readaptación y se irán introduciendo de forma progresiva.

Las cargas de trabajo progresarán en volumen (número de repeticiones, número de series, número de sesiones) y en intensidad (% de la carga y velocidad), teniendo en cuenta los tiempos de recuperación entre series y sesiones.

Los ángulos de trabajo, el tipo de sollicitación, las superficies de trabajo, el material, etc., estarán condicionados por las características individuales del sujeto y directamente relacionadas con las características específicas del deporte.

A modo de resumen expondremos una serie de criterios que consideramos relevantes a la hora de plantear el trabajo excéntrico para la prevención y readaptación de lesiones deportivas.

1. La determinación de la etiología y factores potencialmente lesivos (i.e. técnica, material, etc.) en función de las características del sujeto debe ser el punto de partida para establecer medios de prevención adecuados en cada especialidad deportiva.
2. Este tipo de trabajo debe estar contemplado en la planificación del entrenamiento, debido a la exigencia a nivel muscular de las cargas.
3. La aplicación debe realizarse de forma progresiva en relación a los medios utilizados (ejercicios, forma de plantearlos, cadena cinética cerrada, cadena cinética abierta, etc.) y a los métodos (Stanish, contraste, etc.), atendiendo tanto a aspectos generales como específicos de la disciplina deportiva. El incremento progresivo la dificultad de los ejercicios y las pautas adecuadas (nº repeticiones, nº de series, nº de ejercicios, % de carga, velocidad, etc.) estarán influenciados por las características de cada sujeto (umbral de entrenamiento, de dolor).
4. Es preciso combinar el trabajo excéntrico con el concéntrico en la propia sesión de trabajo y prestar atención a los procesos de recuperación y favorecerlos.

Bibliografía

1. Aagaard, P., Simonsen, E.B., Andersen, J.L., Magnuson, S.P., Halkjaer, J. & Dyhre, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contractions: effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 89, 2249-2257.
2. Alfredson, H. & Lorentzon, R. (2000). Chronic Achilles tendinosis: recommendations for treatment and prevention. *Sports Medicine*, 29, 135-146.
3. Arnason, A., Andersen, TE., Holme, I., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18, 40-48.
4. 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 and Science in Sports*, 13, 244-250.
5. Atha, J. (1981). Strengthening muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9, 1-74.
6. Basas, A. (2010). *Readaptación del deportista lesionado*. Diploma de Postgrado Universidad de Valencia.
7. Byrne, C., Twist, C. & Eston, R. (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. *Sport Medicine*, 34, 49-69.

8. Cannell, L.J., Taunton, J.E., Clement, D.B., Smith, C. & Khan, K.M. (2001) A randomised 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 Sport Medicine*, 35, 60-64.
9. Carrasco, D.L., Delp, M.D. & Ray, C.A. (1999). Effect of concentric and eccentric muscle actions on muscle sympathetic nerve activity. *Journal of Applied Physiology*, 86, 558-563.
10. Clarkson, P.M., Nosaka, K. & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 512-520.
11. Cook, J.L. & Khan, K.M. (2001). What is the most appropriate treatment for patellar tendinopathy?. *British Journal of Sport Medicine*, 35, 291-294.
12. Cook, J., Malliaras, P., De Luca, J., Ptasznik, R., Morris, M. & Goldie, P. (2004). Neovascularization and pain in abnormal patellar tendons of active jumping athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14, 5, 296-299.
13. Croisier, J.L., Forthomme, B., Namurois, M.H., Vanderthommen, M. & Crielaard, J.M. (2002). Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 199-203.
14. Donatelli, R. & Owens, H. (1981). Effects of immobilization on the extensibility of periarticular connective tissue. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 3, 67-72.

15. Durand, R.J., Kraemer, R.R., Hollander, D.B., Tryniecki, J.L., Bamman, M.M., O'Neil, S. et al. (2003) Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 937-943.
16. Faulkner, J.A., Brooks, S.V. & Opiteck, J.A. (1993). Injury to skeletal muscle fibers during contractions: conditions of occurrence and prevention. *Physical Therapy*, 73, 911-921.
17. Garcia-López, D., De Paz, J.A., Jiménez-Jiménez, R., Bresciani, G., De Souza, F., Herrero, J.A. et al. (2006). Early explosive force reduction associated with exercise-induced muscle damage. *Journal of physiology and biochemistry*, 62, 163-170.
18. García-López, D., Häkkinen, K., Cuevas, M.J., Lima, E., Kauhanen, A., Mattila, M. Et al. (2007). Effect of strength and endurance training on antioxidant enzyme gene expression and activity in middle-aged men. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 17, 595-604.
19. Hakkinen, K., Komi, P.V., Alen, M. & Kauhanen, H. (1987). EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weightlifters. *European Journal of Applied Physiology*, 56, 419-427.
20. Hawary, E.L., Stanish, W.D. & Curwin, S.L. (2007). Rehabilitation of tendon injuries in sport. *Sport Medicine*, 24, 347-358.
21. Järvinen, M., Jozsa, L., Kannus, P., Jarvinen, T.L., Kvist, M. & Leadbetter, W. Histopathological findings in chronic tendon disorders. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 7, 86-95.

22. Kellis, E. & Baltzopoulos, V. (1995). Isokinetic eccentric exercise. *Sports Medicine*, 19, 202-222.
23. Khan, K.M., Cook, J.L., Taunton, J.E. (2000). Overuse tendinosis, not tendinitis: a new paradigm for a difficult clinical problem. *Phys Sports Med*, 28, 38-48.
24. Komi, P.V. & Buskirk, E.R. (1972). Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics*, 15, 4, 417-434.
25. Kjaer, M., Langberg, H., Miller, B.F., Boushel, R., Crameri, R., Koskinen, S. et al. (2005). Metabolic activity and collagen turnover in human tendon in response to physical activity. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 5, 41-52.
26. Langberg, H., Ellingsgaard, H., Madsen, T. (2007). Eccentric rehabilitation exercises increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with achilles tendinosis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 17, 61-66.
27. McHugh, M.P., Connolly, D.A., Eston, R.G. & Gleim, G.W. (2000). Electromyographic analysis of exercise resulting in symptoms of muscle damage. *Journal of Sports Sciences*, 18, 163-172.
28. Michaut, A., Babault, N. & Pousson, M. (2004). Specific effects of eccentric training on muscular fatigability. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 278-283.

29. Mjølunes, R., Arnason, A., Osthaen, T., Raastad, T. & Bahr, R. (2004). A 10-week randomized trial comparing eccentric Vs concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14, 311-317.
30. Piazzesi, G., Reconditi, M., Linari, M., Lucii, L., Bianco, P. Brunello, E., Decostre, V., Stewart, A., Gore DB. Irving, TC., Irving, M. and Lombardi, V. (2007). Skeletal muscle performance determined by modulation of number of myosin motors rather than motor force or stroke size. *Cell*, 131, 4, 784-795.
31. Rees, J.D., Lichtwark, G.A., Colman, R.L. (2008). The mechanism for efficacy for eccentric loading in Achilles tendon injury; an in vivo study in humans. *Rheumatology*, 42, 746-749.
32. Schmidbleicher, D. & Buhrlé, M. (1987). Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. In *Biomechanics*, Jonsson, X.B. (ed) p. 615-621.
33. Silbernagel, K.G., Thomee, R., Thomee, P. & Karlsson, J. (2001). Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain: a randomised controlled study with reliability testing of evaluation methods. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11, 197-206.
34. Stanish, W.D., Rubinovich, R.M. & Curwin, S. (1986). Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 20, 65-68.
35. Stanton, P. & Purdam, C. (1989). Hamstring injuries in sprinting: the role of eccentric exercise. *The Journal of Orthopaedic and Sport Physical Therapy*, 10, 343.

36. Wren, T., Beaupre, G.S. & Carter, D.R. (2000). Tendon and ligament adaptation to exercise, immobilization and remobilization. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 37, 217-224.
37. Tous, J. (1999). *Nuevas tendencias en fuerza y musculación*. Barcelona: Hispano Europea.
38. Wilson, J.J. & Best, T.M. (2005). Common overuse tendon problems: a review recommendations for treatment. *American Family Physician*, 72, 811-818.