



- ◆ Trabajo realizado por la Biblioteca Digital de la Universidad CEU-San Pablo
- ◆ Me comprometo a utilizar esta copia privada sin finalidad lucrativa, para fines de investigación y docencia, de acuerdo con el art. 37 de la M.T.R.L.P.I. (Modificación del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual del 7 julio del 2006)

J. A. Martín Urrialde. *Socio AEF n.º 1.140*

## El trabajo isocinético excéntrico

Fisioterapeuta. Profesor  
colaborador del Departamento  
de Ciencias Morfológicas.  
Universidad de Alcalá de  
Henares (Madrid).

**Correspondencia:**  
J. A. Martín Urrialde  
Coslada, 8, 4.º D  
28028 Madrid

### RESUMEN

El trabajo isocinético excéntrico (TIEX) se ha mostrado como uno de los medios más eficaces para obtener un reforzamiento muscular intenso, disminuyendo los signos de fatiga muscular derivados de cualquier programa de fortalecimiento.

La contracción muscular excéntrica está presente en un elevado número de actividades funcionales y es también origen de algunas lesiones por «sobreestiramiento».

En estos casos un adecuado conocimiento de los mecanismos de actuación del ejercicio excéntrico y de su dosificación permitirán al fisioterapeuta aprovecharse del enorme potencial terapéutico que el TIEX presenta.

### PALABRAS CLAVE

Excéntrico; Isocinético; Reforzamiento.

### ABSTRACT

*The eccentric isokinetics are one of the most useful modes of muscle training, decreasing the onset muscular soreness, that occurs in any training program.*

*The eccentric muscular contraction is performing in many of the daily activities causing overstretching injuries. In this cases, the adequate acknowledge of mechanics in eccentric isokinetics and his correct program design, will allow to PT obtain the higher performs that eccentric isokinetics bring us.*

### KEY WORDS

*Eccentric; Isokinetic; Muscle; Training.*

Revista Iberoamericana de Fisioterapia  
y Kinesiología 1998;2:105-114

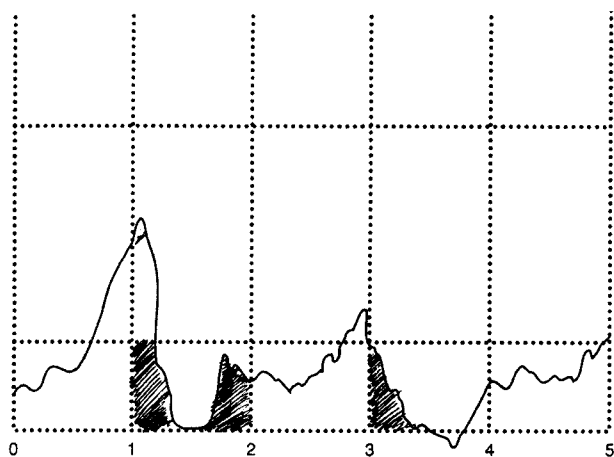


Figura 2. Curva isocinética excéntrica. Las zonas sombreadas corresponden al desencadenamiento del reflejo de cierre de navaja, que protege al músculo de elongaciones indeseadas durante el trabajo excéntrico.

Estos tres puntos son comunes a cualquier actividad muscular excéntrica y su control por vía eferente se realiza por la captación de elongación en los mecanorreceptores (O. Golgi).

El sistema nervioso central (SNC) posee un mecanismo de protección para evitar que la excesiva tensión muscular desarrollada durante la activación excéntrica pueda lesionar las fibras musculares. Patton (18) avanzó el concepto de «reflejo de cierre de navaja» (*claspered knife reflex*). Al producirse un pico de tensión excéntrica se activan los órganos de Golgi y se produce una momentánea pérdida de tensión (Fig. 2) que evita la lesión de las fibras musculares. Este reflejo es una de las principales características del trabajo excéntrico y añade un argumento importante a la activación selectiva de fibras musculares tipo II (rápidas), ricas en terminaciones de Golgi y, por tanto, más reactivas a la activación excéntrica. Por ello, la ganancia de fuerza muscular es más rápida cuando usamos un TIEX que en el caso de usar un método concéntrico como demuestran tres hallazgos (19):

- Mayor torque en menor recorrido articular.
- Menor trabajo y potencia al ser más rápida la contracción.
- Trazados gráficos característicos similares a los recogidos en la figura 2.

Un último factor, enunciado anteriormente, era el relativo a la alteración de las propiedades viscoelásticas de los músculos sometidos a trabajo excéntrico. Podríamos definir la viscoelasticidad como el nivel de tensión muscular resultante por unidad de elongación impuesta en una relación directamente proporcional debido a la formación de puentes proteicos entre las fibras contráctiles (*crossbridge movement de Andrew*) (20).

Este mecanismo se desarrolla eficazmente en el TIEX y ofrece un incremento de tensión muy importante con un retardo electromecánico muy pequeño. El «retardo electromecánico» es el tiempo que transcurre entre la activación química y mecánica de la contracción y es uno de los factores que más pueden influenciarse por el TIEX, tal y como demostraron Komi (21) y Cummings (22).

### Trabajo excéntrico y tono muscular

El «tono muscular» es definido como el *estado de semicontracción en reposo* y es regulado de forma permanente por el reflejo miotático. Muchos factores pueden afectar su estado; de ahí la gran dificultad para proceder a una correcta evaluación del mismo.

Kabat en sus extensos trabajos mostraba que el estiramiento pasivo lento inhibía el reflejo miotático y reforzaba la acción de los órganos de Golgi, en tanto que un estiramiento brusco de un músculo desencadenaba la actividad de los husos neurosensoriales, aumentando por consiguiente el tono.

El estudio del reflejo H, equivalente al reflejo miotático, obtenido a nivel del tríceps sural por estimulación reiterativa del ciático poplíteo interno a nivel del hueco poplíteo durante un estiramiento pasivo del mismo ponía en evidencia la disminución del mismo cuando se producía el citado estiramiento.

En 1993, Middleton et al (23) efectúan el mismo experimento, pero solicitando una contracción excéntrica del tríceps sural durante el movimiento de flexión dorsal impuesto por un equipo isocinético en modo de trabajo pasivo.

El reflejo H también disminuye de una forma más manifiesta, lo cual avala el efecto inhibitorio de la hipertonía del trabajo excéntrico sobre el estiramiento

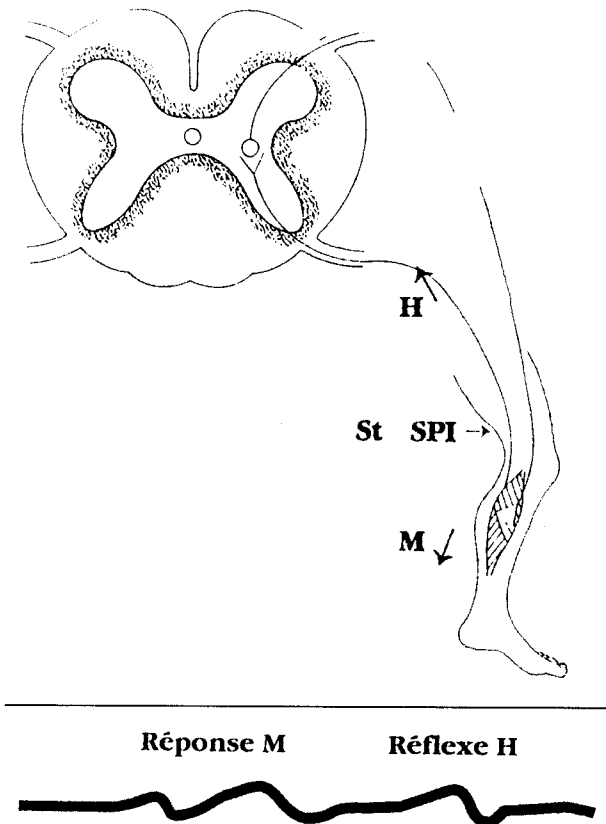


Figura 3. En el gráfico superior se muestra la forma de activación del reflejo H y de la contracción muscular (M) con su correspondiente trazado gráfico; en el dibujo inferior, obtenido durante un estiramiento pasivo del músculo estimulado. (Extraído de Middleton y Puig.)

pasivo (Figs. 3 y 4). Estos resultados pueden ayudar a explicar la disminución de los síntomas en las contracturas tratadas con métodos excéntricos o la inhibición de los calambres musculares al efectuar un estiramiento pasivo lento: el propio estiramiento representa un trabajo excéntrico.

### DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE TRABAJO MUSCULAR EXCÉNTRICO

El TIEEX posee un potencial elevado de producir lesiones en el tejido miotendinoso elevado, como es el

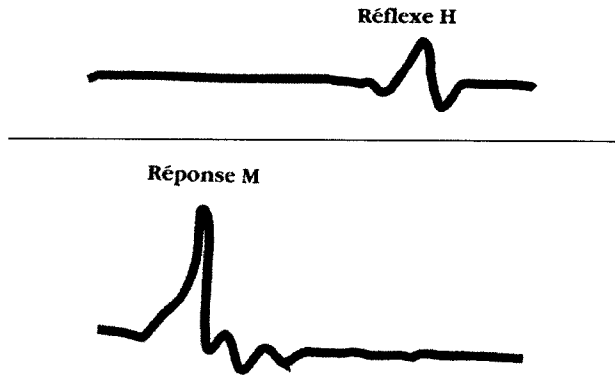


Figura 4. En el gráfico superior se observa el trabajo del reflejo H de un tríceps sural en reposo, en tanto que en la gráfica inferior observamos la modificación obtenida mediante el empleo del trabajo excéntrico submáximo a velocidad lenta: la contracción muscular (reponse M) aumenta y desaparece el reflejo H. (Extraído de Middleton y Puig.)

caso de la fatiga muscular postejercicio (DOMS) que Martin (24) describe en sus síntomas más importantes.

El comienzo de cualquier trabajo muscular excéntrico se sitúa en el estado subagudo de una lesión, eliminados los signos inflamatorios, y siendo perfectamente tolerado el trabajo muscular concéntrico e isométrico, con ausencia de signos dolorosos.

Los medios para obtener un trabajo excéntrico son:

- Poleas.
- Bandas elásticas.
- Resistencia manual.
- Cargas directas.
- Dinamómetros isocinéticos.
- Equipos inerciales (prensas).
- Métodos pliométricos.

En todos los programas deberemos prestar atención a varios factores:

- *Duración.* Vendrá expresada por la cantidad de repeticiones solicitadas en forma de movimientos simples o combinados usando los medios disponibles.
- *Intensidad.* La progresión será siempre de submáxima a máxima, con los períodos de descanso pertinentes, en relación directa a la intensidad.

110

Una propuesta de progresividad en la intensidad puede ser:

- Isométricos submáximos multiángulo.
- Isométricos máximos multiángulo.
- Concéntrico submáximo recorrido corto. (Recorrido «corto» y «completo» hace referencia al recorrido articular impuesto por la actividad muscular solicitada, usando el término «corto» para aquellos recorridos inferiores al 25% del rango total y «completo» para todo el rango permitido.)
- Concéntrico máximo recorrido completo.
- Isotónico recorrido completo.
- Excéntrico submáximo recorrido corto.
- Excéntrico máximo recorrido corto.
- Excéntrico máximo recorrido completo.

— *Frecuencia.* El trabajo excéntrico es muy fatigante para el músculo, siendo plena la coincidencia de diversos profesionales en limitar su empleo a dos o tres sesiones semanales.

La secuencia aconsejada de trabajo podemos dividirla en cuatro fases cronológicas:

#### *Fase I: fase de aprendizaje*

Abarcará las primeras tres o cuatro sesiones de trabajo y el objetivo será familiarizar al sujeto con el modo de contracción excéntrica, concentrarle en las sensaciones musculares que recibirá y eliminar cualquier resistencia del sujeto a emplear un método de trabajo más intenso.

El uso de cargas directas, aplicadas al segmento a tratar, con métodos que incluyan una fase de contracción concéntrica y una fase de contracción excéntrica asistida, por ejemplo, poleoterapia o banco de acoplamiento, parecen las más adecuadas (Figs. 5 y 6).

#### *Fase II: fase de cargas submáximas*

Una vez superada la primera fase el sujeto inicia el trabajo, tomando como referencia la fuerza máxima excéntrica equivalente al 120% del 1RM isotónico habitual si se emplean cargas directas o bien velocida-

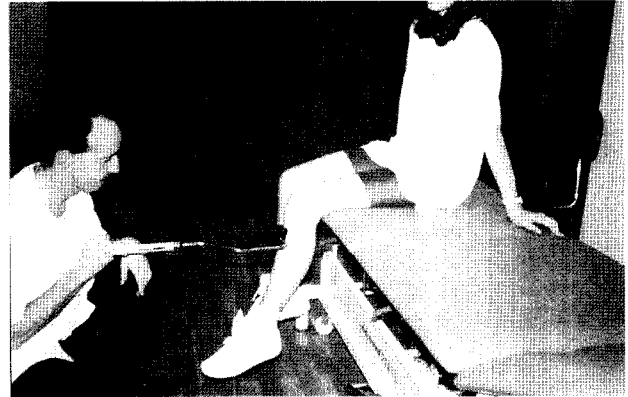


Figura 5. Enseñanza del trabajo excéntrico mediante dinamómetro manual.

des isocinéticas medias (90 a 120°/s) si se emplean equipos isocinéticos.

En ambos casos el trabajo siempre será en cadena cinética abierta y la duración de este período puede oscilar según la tolerancia del sujeto de siete a 14 sesiones, usando ambas extremidades (sana y lesionada) para trabajar.

Jhonson (25) aconseja en esta fase, si la tolerancia hacia el uso de equipos mecánicos es mala, el empleo de la propia resistencia corporal para el trabajo excéntrico en MMII y MMSS con el empleo de apoyos bi-

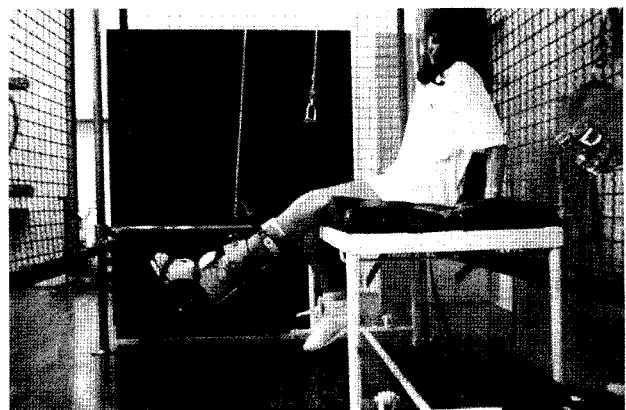


Figura 6. Trabajo excéntrico de cuádriceps en cadena abierta y asistido por medio de polea en la fase de aprendizaje.

podales o bimanuales y trabajo de *squats* a diferentes ángulos.

La dificultad de cuantificar la carga impuesta parece la principal crítica a este método que, por otra parte, aporta un buen conocimiento de las sensaciones musculares desencadenadas por el trabajo excéntrico.

#### *Fase III: fase de carga máxima*

Es la fase más larga (20 a 30 sesiones) y corresponde con la vuelta del sujeto a sus actividades deportivas, incrementándose la carga de trabajo de forma progresiva, centrándose todo el trabajo en el segmento lesionado.

El trabajo isocinético es en cadena cinética cerrada, siguiendo el protocolo de Knigth. Si no es posible el uso de equipos isocinéticos la progresión se efectúa por medio de cargas directas a partir de la fuerza máxima excéntrica y progresando hasta el 40% de la misma, límite en el cual el riesgo de lesión muscular es elevado.

Si se opta por el empleo de posiciones de *squat*, para MMII/MMSS, según los postulados de Jhonson, debe aumentarse la carga corporal con chalecos, mancuernas y lastres en cantidades que oscilan entre el 10 al 25% del peso corporal, según tolerancia.

#### *Fase IV: pliométrica*

Es una fase reservada a deportistas de nivel, pues el empleo de métodos pliométricos exige una integridad absoluta del sistema musculoesquelético, siendo su finalidad el obtener una respuesta contráctil concéntrica máxima tras una contracción excéntrica igualmente máxima.

El trabajo en esta fase se puede planificar de forma cíclica, siempre en cadena cinética cerrada, y el empleo de equipos isocinéticos no es habitual, pues la mayor parte de las actividades son funcionales, siguiendo el principio de adaptar la reeducación a los gestos habituales de sujeto, en su entorno laboral, deportivo, etc. (Figs. 7 y 8).

La experiencia clínica aconseja un período de descanso entre cada repetición de al menos 30 s, y de

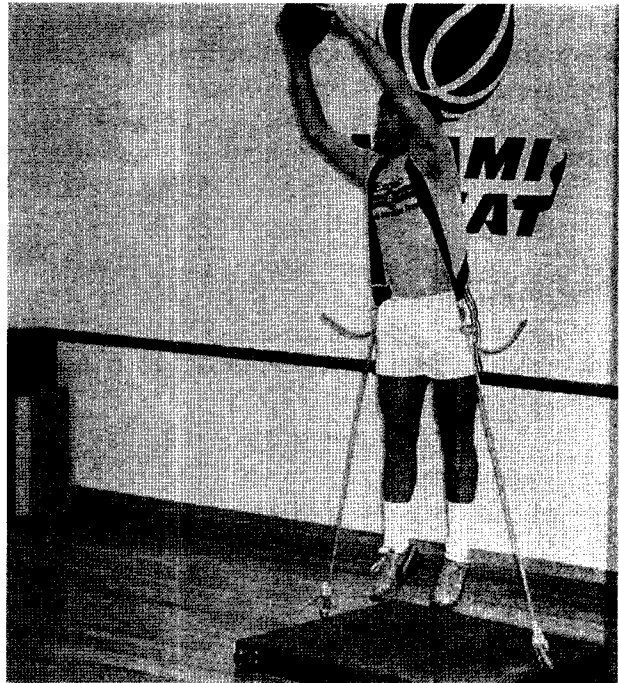


Figura 7. Trabajo pliométrico de MMII como readaptación de un gesto deportivo.



Figura 8. Actividad excéntrica de MMSS en cadena cinética cerrada.

112 1 minuto entre cada serie de repeticiones, siendo los valores normales de trabajo de una a tres series, con un máximo de 20 repeticiones por serie.

La evaluación de la progresión en el reforzamiento muscular perseguido debe hacerse cada seis sesiones de trabajo (2 semanas), usando para ello dos parámetros, según el método de trabajo elegido:

- F<sub>máx</sub> excéntrica: si usamos cargas directas o corporales.
- Torque máximo: si usamos equipos isocinéticos, usando la misma velocidad para la evaluación progresiva.

### PERSPECTIVAS FUTURAS DEL TRABAJO EXCÉNTRICO

Los efectos que buscamos en el empleo del trabajo excéntrico se basan en la interacción entre posición segmentaria, velocidad del movimiento, tipo de contracción y ángulo efectivo de trabajo para obtener un incremento en el rendimiento contráctil del músculo o músculos afectados.

El incremento de fuerza ha sido establecido en diversos estudios:

- Grimby (26): 7% aumento semanal en el cuádriceps.
- Shing et al (27): 2,9% de aumento semanal en extensores del brazo.
- Jhonson et al (28): 5,3% de aumento semanal en el bíceps femoral.

Mi experiencia personal en el uso simultáneo de métodos por carga directa y con equipos isocinéticos apunta a un aumento semanal del 5% en la F<sub>máx</sub> concéntrica en el trabajo, sobre todo de MMII (cuádriceps, isquiotibiales, etc.), demostrándose como un método de elección para conseguir una rápida hipertrofia muscular.

Una reflexión interesante es apuntar que el mecanismo que produce la hipertrofia con el uso de trabajo excéntrico es un aumento de la actividad fibroblástica que provoca una mayor densidad del tejido fascial y de los elementos contráctiles seriados (tendón, epimisio, etc.), en oposición a los métodos concéntricos,

que provocan cambios en la estructura proteica de las miofibrillas, según demostró Stauber (29).

Otro apunte importante es el referido al *síndrome de fatiga muscular postejercicio*, sinónimo de la terminología sajona DOMS (*delayed onset muscular soreness*), muy frecuente en los protocolos excéntricos (24).

En un estudio de Clarkson (30) se establece que la repetitividad del trabajo excéntrico va aminorando los síntomas del DOMS, desencadenados por la liberación de enzimas proteolíticas en el interior de miofibrillas de tipo II por un efecto «rebote» mediante el cual cada vez el número de fibras lesionadas es menor y, por tanto, los síntomas van eliminándose.

### INDICACIONES DEL TRABAJO MUSCULAR EXCÉNTRICO

Como ya se ha enunciado antes, el trabajo excéntrico representa una fase terminal en el protocolo de reforzamiento muscular aplicable en cualquier lesión o etiología que lo precise, por lo que las indicaciones generales son las válidas para los fines citados.

En este contexto, y siendo conscientes de una parte del riesgo iatrogénico que asumimos, pero también de los beneficiosos efectos de lograr reforzar, por ejemplo, la resistencia del tendón al estiramiento, el empleo de medios excéntricos está indicado en las siguientes situaciones:

- Prevención de lesiones musculotendinosas.
- Lesiones musculotendinosas no operadas.
- Inestabilidades articulares.

En todos estos casos la velocidad de trabajo será, si disponemos de equipo isocinético, lenta, permitiendo al equipo que imprima el movimiento y solicitando al paciente un esfuerzo frenador del mismo en un rango de movilidad predeterminado.

La determinación en todos los casos de la F<sub>máx</sub> excéntrica es imprescindible, ya que será el parámetro de trabajo para pautar las series y repeticiones.

### Prevención de lesiones musculotendinosas

El objetivo perseguido es aumentar la resistencia mecánica del complejo miotendinoso al estiramiento.

El protocolo seguido es:

- Dos ciclos de 3 semanas de duración a razón de tres sesiones semanales.
- Velocidades de trabajo: 30, 60 y 90°/s.
- Volumen de trabajo/sesión: tres series de 15 repeticiones. Descanso: 2 min/serie.
- Cargas de trabajo: primera semana, 30% F<sub>máx</sub> excéntrica (umbral de torque permitido); segunda semana, 50% FMEX, y tercera semana: 70% FMEX.
- Evaluación: a la cuarta semana. Porcentaje de aumento de FMEX: 78%.

### Lesiones musculotendinosas no operadas

El objetivo en este caso es devolver al músculo-tendón el estado de elongación perdido y mejorar su nivel de resistencia a las tracciones.

El protocolo se inicia una vez que el estiramiento pasivo y la contracción isométrica en la posición de máximo estiramiento es indolora.

Partimos del cálculo de la FMEX y, usando dos velocidades de trabajo de 30 y 90°/s, desarrollamos el siguiente protocolo:

- Primera semana: primera día, 10 repeticiones a 30°/s y límite de torque en el 30% FMEX; segundo día, 10 repeticiones a 90°/s y límite de torque en el 50% FMEX, y tercer día, 10 repeticiones a 30°/s y límite de torque en el 70% FMEX.
- Cálculo de la nueva FMEX y se repite el

mismo ciclo hasta completar 3 semanas de tratamiento.

113

### Tratamiento de inestabilidades articulares

El objetivo que se persigue en este caso es reforzar al máximo al aparato muscular, que en toda inestabilidad sufre una sollicitación máxima al estiramiento.

El trabajo excéntrico en este caso se sitúa al final del protocolo general de Fisioterapia; una vez que se ha logrado la completa cicatrización ligamentaria y conjunta el recorrido articular es indoloro y el músculo a tratar posee al menos un valor de test (1RM o torque máximo, según equipos de trabajo) similar a un 80% del mismo valor en el lado sano.

El programa de trabajo se planifica a 3 semanas, a razón de tres sesiones semanales, con revisión de la FMEX cada semana.

Los volúmenes de trabajo serán del 40, 60 y 80% de la FMEX y la progresión se efectuará a razón de 10 repeticiones por porcentaje, usando una velocidad de trabajo de 90°/s, que se aumentará en 15°/s para cada nuevo ciclo de trabajo.

Otras indicaciones generales del trabajo excéntrico son:

- Dolor articular reproducible durante el trabajo concéntrico.
- Mesetas evolutivas en programas de reforzamiento muscular.
- Baja motivación del sujeto ante el trabajo de musculación.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Davies GJ. A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation technics. 3.<sup>a</sup> ed. 1987:359-400.
2. Newham DJ, et al. Skeletal muscle damage: a study of isotope uptake enzyme efflux and pain after stepping. *Eur J Appl Physiol* 1986;55(1):106-12.
3. Dean E. Physiology and therapeutic implications of negative work. *Phys Ther* 1988;68:223.
4. Hinton RY. Isokinetic evaluation of shoulder rotation strength in highschool baseball pitchers. *Am J Sports Med* 1988;16:274.
5. Zarins B, et al. Injuries to the throwing arm. Philadelphia: WB Saunders; 1988.
6. Phillips SJ, et al. Quantification of intersegmental reactions during rapid swing motion. *J Biomech* 1983;16:441.
7. Garret WE. Basic science of musculotendinous injuries. Nicholas, Hersmanhn, eds. *The lower extremity and spine in sport medicine*. S. Louis; 1986:42.
8. Bennet JG, Stauber WT. Evaluation and treatment of anterior knee pain using eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:528.



- 114
9. Stanish WD, Curwin S. Tendonitis: its etiology and treatment. Lexington: DC Heath and Co.; 1985.
  10. Engel WK. Selective and nonselective susceptibility of muscle fibers type. *Arch Neurol* 1970;22:97.
  11. Cavagna PR, Komi PV. Electro-mechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *Eur J Appl Physiol* 1979;42:159.
  12. Cavagna PR. Effect of negative work and the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J Appl Physiol* 1965;20:157.
  13. Elftman H. Biomechanics of muscle. *J Bone Joint Surg* 1966;48:365.
  14. Griffin JW. Difference in elbow flexors torque measured concentrically, eccentrically and isometrically. *Phys Ther* 1987;67:1205.
  15. Seliger V, et al. A dynamometric comparison of maximum eccentric, concentric and isometric contractions using EMG and energy expenditure measurements. *Eur J Appl Physiol* 1980;45:235.
  16. Doos WR. A comparison of eccentric, concentric and isometric torque in elbow extensors. *J Appl Physiol* 1965;20:351.
  17. Knuttgen HG, Klausen K. Oxygen debit in short term exercise with concentric and eccentric muscle contraction. *J Appl Physiol* 1971;30:362.
  18. Davies CTM, Barnes C. Negative (eccentric) work. Physiological responses to walking uphill and downhill on a motor-driven treadmill. *Ergonomics* 1972;15:121.
  19. Patton HD, Sundstein JW, Crill WE. Introduction to basic neurology. Philadelphia: Saunders; 1976.
  20. Parmiggiani F, Stein RB. Non-linear summation of contractions in cat muscle. *J Gen Physiol* 1981;78:295.
  21. Komi PV. Measurements of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions. *Med Sports Biomech* 1973;III(8):224.
  22. Cummings RW. Electro-mechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiol Scand* 1979;106:224.
  23. Middleton P, Puig P, Trouve P, Roulland R. Une nouvelle technique de gain d'amplitude articulaire. Le travail excentrique sur machine isocinétique. *Act Reed Fonctionnelle et Readpt* 1993;18:405-9.
  24. Martín Urrialde JA. El síndrome de fatiga muscular postejercicio. *Fisioterapia* 1993;15(3):134.
  25. Jhonson BL, et al. Program of eccentric-concentric strength training. *Am Correct Ther* 1975;29:16.
  26. Grimby G, Gustafson E, Peterson L, Renstrom P. Quadriceps function and training after knee ligament surgery. *Med Sci Sports Exerc* 1980;12:79.
  27. Shing R, et al. Observations on experimental muscle soreness. *Acta Rheumat Scand* 1976;1:109.
  28. Jhonson BL, Karpovick R. Effect of eccentric training of agonists and antagonists muscles. *J Appl Physiol* 1967;23:744.
  29. Stauber WT. Eccentric action of muscle physiology, injury and adaptation. *Exerc Sports Sci Rev* 1989;19:157.
  30. Clarkson C. A clinical view on pain physiology. *Acta Chir Scand* 1982;148:235.