

Monograph

Flexibilidad: Evidencia Científica y Metodología del Entrenamiento

Pablo E Hernández Díaz¹

¹Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

RESUMEN

A pesar de la limitada evidencia científica existente, el entrenamiento de la flexibilidad ha sido promovido durante años como parte integral de un programa de entrenamiento físico, con el objetivo de disminuir el riesgo de lesiones, aliviar el dolor muscular post-ejercicio (DOMS) y mejorar el rendimiento deportivo. En la actualidad, los conceptos clásicos que existían sobre esta disciplina han sido puestos en duda en base a nuevas investigaciones científicas, con lo cual han surgido muchas mal interpretaciones y malentendidos entre pacientes, deportistas y profesionales del área. En relación a los orígenes del entrenamiento de la flexibilidad los primeros indicios se pueden datar hacia el año 2500 AC en el antiguo Egipto. En nuestra época, los aportes más relevantes han sido realizados por el neurofisiólogo Charles Sherrington, quien describe los circuitos neuronales y enuncia los principios neurofisiológicos en los cuales se basa la elongación muscular. Además de Sherrington, los aportes de Bobath, Solverborn y actualmente Robert Anderson han llevado a niveles insospechados el desarrollo y masificación de esta actividad. La flexibilidad en términos generales se define como la capacidad de desplazar una articulación o una serie de articulaciones a través de una amplitud de movimiento completa sin restricciones ni dolor, influenciada por músculos, tendones, ligamentos, estructuras óseas, tejido adiposo, piel y tejido conectivo asociado. La Flexibilidad esta también influenciada por una serie de factores intrínsecos y extrínsecos, estos incluyen el nivel o el tipo de actividad que el individuo desarrolle, la temperatura, el sexo, la edad y la articulación involucrada entre otros. Existen variadas técnicas de elongación muscular entre ellas destacan: Elongación balística, Elongación pasiva asistida, Elongación activa y Elongación con Facilitación Neuromuscular Propioceptiva, cada una de ellas con distintas aplicaciones y efectos sobre el sistema neuromuscular. Los efectos de estas técnicas pueden clasificarse principalmente de acuerdo al perfil temporal en que se presentan, existen los efectos a corto plazo (agudos) y los efectos a largo plazo (crónicos). Durante una sesión de elongación muscular los principales efectos que se manifiestan son el aumento del rango articular, la disminución de la viscoelasticidad del tejido muscular y la disminución de la fuerza máxima que es capaz de desarrollar el músculo que ha sido sometido a elongación. Por su parte los efectos de un programa de elongación muscular a largo plazo son el aumento sostenido del rango articular y de acuerdo a algunos estudios la mejora del desempeño deportivo. Con respecto a la prevención de lesiones y el dolor muscular post-ejercicio, no existe evidencia científica que avale el uso de la elongación muscular, ya sea para disminuir la incidencia de lesiones o aliviar el DOMS. De acuerdo a las más recientes investigaciones, existen criterios que actualmente se utilizan para indicar y aplicar la elongación muscular, de acuerdo al tipo de elongación, intensidad, tiempo y frecuencia de esta.

Palabras Clave: elongación, rango de movimiento, facilitación neuromuscular propioceptiva, DOMS

INTRODUCCION: ORIGENES DEL ENTRENAMIENTO DE LA FLEXIBILIDAD

A pesar de la limitada evidencia científica que existe, el entrenamiento de la flexibilidad ha sido promovido durante años como parte integral de un programa de entrenamiento físico, con el fin de disminuir el riesgo de lesiones, aliviar el dolor

muscular post-ejercicio y mejorar el rendimiento deportivo.

Muchas y variadas recomendaciones han surgido de la literatura y de publicaciones científicas, en la actualidad, las nuevas investigaciones han puesto en duda algunos de estos conceptos clásicos sobre la práctica de la elongación muscular. Como resultado de todo esto, las mal interpretaciones y malentendidos surgen comúnmente no solo entre pacientes y deportistas, sino que también, entre preparadores físicos, entrenadores y los distintos profesionales de la salud.

Por lo general, al preguntarle a personas que practican actividad física, la razón por la cual entrenan la flexibilidad, las razones y motivos se repiten:

- Calentamiento previo al ejercicio.
- Prevenir el dolor muscular post ejercicio.
- Prevenir lesiones.
- Mejorar la movilidad articular general (Flexibilidad)

Prácticamente ninguna de estas acciones tiene un sustento científico que las avale, es mas, podríamos decir que solamente elongar la musculatura buscando específicamente estos beneficios, es simplemente una perdida de tiempo.

A partir de esto, surgen distintas interrogantes: ¿Para que sirve realmente la elongación? ¿Existe evidencia científica que avale su uso en el ámbito deportivo, recreativo o terapéutico? ¿Puede el entrenamiento de la flexibilidad mejorar el rendimiento deportivo? ¿Puede prevenir lesiones? Preguntas que iremos resolviendo y analizando crítica y científicamente en el presente escrito.

En relación a los orígenes del entrenamiento de la flexibilidad (Ibáñez, A., 1993), los primeros indicios relacionados con estas actitudes de extensión muscular se pueden datar hacia el año 2500 a.C., en esta época encontramos pinturas funerarias de las tumbas de Beni Hasan, en el antiguo Egipto, en donde aparecen dibujos en los que se observan ejercicios de flexibilidad individuales y en parejas.

Mas adelante, en oriente, donde aparece el Yoga, existen otras disciplinas también de antigüedad milenaria, como el Diong y el Tai-ji-qan, las cuales utilizan técnicas de estiramiento y posturas similares a las que conocemos en la actualidad.

Durante la época romana, en occidente, existía un grupo de contorsionistas, que realizaban prácticas del desarrollo de la flexibilidad llevándola a sus máximos límites. Estos ejercicios se exhibían a modo de espectáculo en fiestas y reuniones de aquella época.

En nuestra cultura occidental, el precursor de estas ideas y su desarrollo, fue el sueco P.H. Ling y los seguidores de esta escuela, entre los que destacan su hijo Hjalmar Ling y C. Norlander, quienes basados principalmente en la observación y en la practica, mas que en conocimientos científicos fundamentados, comenzaron a utilizar ejercicios individuales y por parejas, insisten en desarrollar la corrección de la actitud y del tono postural, afectados principalmente por el sedentarismo de esa época, al mismo tiempo tratan de evitar las tensiones psicofísicas y buscan una mejora en la relajación, tanto física como mental. La técnica que se utilizaba para la ejecución de estos ejercicios, llamada gimnasia de posiciones, consistía en participación de lo ellos llamaban “apoyos animados”, los cuales se realizaban a través de grandes tracciones repetitivas a modo de rebote, hasta el punto de dolor. En la actualidad a esta técnica se le conoce con el nombre de elongaciones balísticas.

Ya en el siglo XX la fisiología occidental tomando estos conocimientos y sumado a las investigaciones principalmente del neurofisiólogo **Charles Sherrington**, fundo los pilares de lo que hoy conocemos como la fisiología de la elongación muscular.

A Sherrington se le debe la primera descripción del reflejo de estiramiento o reflejo miotático, en su celebre tratado “*The integrative action of de nervous system*” (1906), el cual tuvo considerable repercusión en el mundo científico de la época.

En base a estos aportes fundamentales de la neurofisiología, se conocen muchos ejes diferentes de aplicación:

- En el área de la rehabilitación física lo aportado por **Bobath** (1948) con el concepto de neurodesarrollo y fundamentalmente por el **Dr. Herman Kabat** (1953), el cual introduce el concepto de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (F.N.P), en el cual se basan las técnicas que se conocen actualmente con el nombre de “*Stretching*”.
- Los aportes en rehabilitación se extendieron al área de la educación física por Holt (1971) y sobre todo por diversas escuelas escandinavas lideradas por Sven Solveborn y Jaen Ekstrand quienes han realizado importantes investigaciones que difunden la utilización profiláctica del *stretching*.
- Actualmente en EE.UU., el pionero del *stretching* es Bob Anderson, quien con su libro “*Stretching*” traducido a 29 idiomas y mas de 4 millones de copias vendidas, ha logrado difundir la practica, investigación y desarrollo de esta

disciplina a nivel mundial.

FLEXIBILIDAD Y ELONGACION: CONCEPTOS Y DEFINICIONES BASICAS

Definiendo Flexibilidad

La palabra flexibilidad se puede definir de diferentes maneras según la disciplina o la naturaleza de la investigación. Por ejemplo, el término se puede aplicar a objetos animados o inanimados. La palabra deriva del Latín *flectere*, “curvar,” y se define como “la habilidad de curvarse/flexionarse.”

La flexibilidad se define como la capacidad para desplazar una articulación o una serie de articulaciones a través de una amplitud de movimiento completo, sin restricciones ni dolor, influenciada por músculos, tendones, ligamentos, estructuras óseas, tejido graso, piel y tejido conectivo asociado (Herbert, R., Gabriel, M., 2002; Rusell, T., Bandy, W., 2004; Thacker, S., et al. 2004). La flexibilidad está influenciada además por una serie de factores que incluyen: el nivel y/o tipo de actividad que el individuo desarrolle, la temperatura ambiental, el sexo, la edad y la articulación involucrada entre otros. (Anderson, B., Burke, E., 1991; Prentice, W., 1997).

De esta definición clásica se puede desprender el hecho de que el concepto de flexibilidad no solo tiene relación con el músculo, sino que involucra a todo el sistema neuromuscular y osteoarticular.

De acuerdo a Mario Di Santo (2001), la flexibilidad es la capacidad psicomotora responsable de la reducción y minimización de todos los tipos de resistencias que las estructuras neuro-mio-articulares de fijación y estabilización ofrecen al intento de ejecución voluntaria de movimientos de amplitud angular óptima, producidos tanto por la acción de agentes endógenos (contracción del grupo muscular antagonista) como exógenos (propio peso corporal, compañero, sobrecarga, inercia, otros implementos, etc.)

Según Alter (1996), existen dos tipos de flexibilidad

- *Dinámica*: Hace referencia al grado en que se puede mover una articulación por medio de una contracción muscular, por regla general en el centro del recorrido del movimiento. La flexibilidad dinámica no es necesariamente un buen indicador de la rigidez o la holgura de una articulación porque tiene que ver con la capacidad para mover una articulación de forma eficiente, con muy poca resistencia al movimiento.
- *Estática*: Hace referencia al grado en que se puede mover de forma pasiva una articulación hasta el punto límite de su amplitud de movimiento. En la amplitud pasiva ninguna contracción muscular toma parte en el movimiento de la articulación. Amplitud de movimiento respecto a una articulación, sin poner énfasis en la velocidad del movimiento.

Flexibilidad “Normal”

Existe poco acuerdo sobre la definición de la denominada flexibilidad normal. En educación física, medicina del deporte, y otras ciencias allegadas de la salud, tal vez, la definición más simple de flexibilidad sea el rango de movimiento (ROM) disponible en una articulación o grupo de articulaciones (Hebbelinck, M., 1988).

Para otros, la flexibilidad también implica:

- Libertad para moverse (Metheny, E., 1952).
- “La capacidad de involucrar parte o partes del cuerpo en un amplio rango de poderosos movimientos a la velocidad necesaria” (Galley, P., Forster, A., 1987).
- “La extensión total alcanzable (dentro de los límites de dolor) de una parte del cuerpo a través de su potencial rango de movimiento” (Saal, J., 1998).
- Rango normal de movimiento de articulación y tejido blando en respuesta a un “estiramiento activo o pasivo” (Halvorson, G., 1989).
- “La capacidad de mover suavemente una articulación a través de todo su rango de movimiento” (Kent, M., 1998). “Capacidad de mover una sola articulación o series de articulaciones suave y fácilmente a través de un ROM irrestricto y libre de dolor” (Kisner, C., Colby, L., 2002).
- “La capacidad de mover una articulación a través de un rango normal de movimiento sin innecesario estrés en la unidad musculotendinosa” (Chandler, T., et al. 1990).

Beneficios Propuestos de la Flexibilidad

A través de los años, se han propuesto múltiples beneficios para el entrenamiento de la flexibilidad, independiente del tipo de validación científica y la veracidad de estas afirmaciones, todas destacan por presentar un sustento científico que las avala. Entre ellas destacan:

- Aumento del ROM en las articulaciones entrenadas. (Davis, D., et al. 2005; Handel, M, et al. 1997; Zito, M., et al. 1997; Hernández, P., et al. 2005).
- Prevención de lesiones músculo esqueléticas por tensión. (Dadebo, D., et al. 2004; Prentice, W., 1997; Wiemann, K., Klee, A., 1997).
- Aumento de la relajación muscular como base para un movimiento más fluido. (Anderson, B., Burke, E., 1991; Andel, M., et al. 1997).
- Disminución de la rigidez muscular, con el consecuente almacenamiento de energía elástica más eficiente, para la realización de movimientos con el ciclo de alargamiento - acortamiento del músculo (SSC: *Stretch - Shortening Cycle*). (Handel, M. et al. 1997).
- Retarda el dolor muscular residual (DOMS). (Anderson, B., Burke, E., 1991; Herbert, R., Gabriel, M., 2002; Zachazewski, J. et al. 1996).
- Mejora el rendimiento deportivo en los atletas, puesto que el músculo trabaja a una longitud óptima. (Herbert, R., Gabriel, M., 2002; Rusell, T., Bandy, W., 2004, Thacker, S., et al. 2004).
- Prevenir acortamientos musculares. (Davis, D., et al. 2005).
- Mejora la coordinación neuromuscular. (Prentice, W., 1997).

Naturaleza de la Flexibilidad

Además de la resistencia, la fuerza y la velocidad, la flexibilidad es una cualidad física que forma parte importante del desarrollo total de la forma física.

La flexibilidad no existe como característica general, es específica de una articulación en particular y de la acción articular (Bryant, S., 1984; Corbin, C., Noble, I., 1980). Un adecuado ROM en la cadera no asegura un adecuado ROM en el hombro. Del mismo modo, suficiente ROM en una cadera puede no significar suficiente ROM en la contralateral. En resumen, “no se puede utilizar ningún test de flexibilidad para evaluar la flexibilidad total del cuerpo” (American College of Sports Medicine, 2000). Las diferencias en ROM reflejan variación genética, patrones de actividad personal, y presiones mecánicas especializadas impuestas sobre tejido conectivo.

Contrariamente a la creencia popular de que si los atletas son flexibles en una articulación, luego tendrán similar rango de movimiento en las otras, un individuo es una combinación de muchas articulaciones, algunas de las cuales pueden ser inusualmente flexibles, algunas inflexibles y otras medianamente flexibles (De Vries, H., 1986). La flexibilidad, por lo tanto, es específica a la articulación y depende no solo de la “tensión” de los ligamentos, músculos, tendones y cápsulas articulares, sino también del tamaño y la forma de los huesos y la manera en que articulan. (Bloomfield, J., Wilson, J., 1998).

Componentes de la Flexibilidad

El concepto de flexibilidad esta íntimamente ligado a otros que por lo general se confunden y se utilizan indistintamente como sinónimos, cabe recalcar que todos estos términos abajo descritos en definitiva hacen referencia a propiedades particulares del tejido muscular, articular, tejido conectivo y la piel, y solo deben ser usados en ese contexto, jamás refiriéndose a la flexibilidad en si.

Cuatro son los componentes de la flexibilidad

Movilidad: Propiedad que poseen las articulaciones de realizar determinados tipos de movimiento, dependiendo de su estructura morfológica.

Extensibilidad, Distensibilidad o Compliance: Propiedad que poseen algunos componentes musculares de deformarse por influencia de una fuerza externa, aumentando su extensión longitudinal.

Elasticidad: Propiedad que poseen algunos componentes musculares de deformarse por influencia de una fuerza externa, aumentando su extensión longitudinal y retornando a su forma original cuando cesa la acción. (Figura 1).

Plasticidad: Propiedad que poseen algunos componentes de los músculos y articulaciones de tomar formas diversas a las originales por efecto de fuerzas externas y permanecer así después de cesada la fuerza deformante. (Figura 1).

Maleabilidad: Propiedad de la piel de ser plegada repetidamente con facilidad, retomando su apariencia anterior al retornar a la posición original.

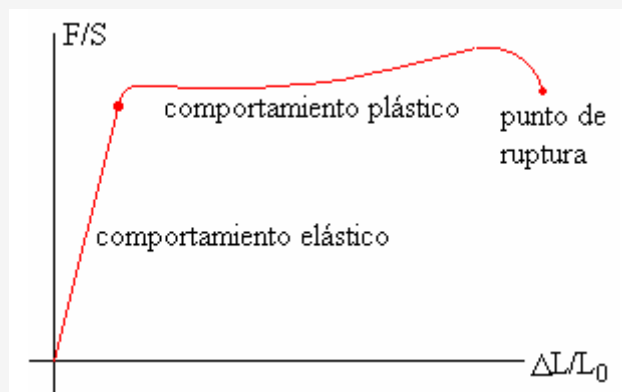


Figura 1. Módulo de Young.

Para desarrollar cada uno de los dos tipos de flexibilidad (Dinámica y Estática), se utilizan técnicas de elongación muscular o también denominadas estiramientos musculares.

La **elongación** muscular es el medio a través del cual se entrena la flexibilidad, existiendo distintas técnicas, métodos y escuelas. Estas actitudes de estiramiento muscular tienen diversos efectos sobre el sistema neuromuscular caracterizadas principalmente por el perfil temporal de cada una de ellas, ya sean efectos agudos, los cuales se presentan inmediatamente después de la elongación de un músculo, y los efectos crónicos, los cuales se presentan luego de un periodo en el cual se ha realizado un entrenamiento (sistemático o no), de la flexibilidad a través de elongaciones musculares.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE LA FLEXIBILIDAD

Factores Intrínsecos

- La estructura ósea puede restringir el punto límite de la amplitud. Un codo que se haya fracturado por la articulación puede asentar un exceso de calcio en el espacio de la articulación, haciendo que ésta pierda su capacidad para extenderse por completo. En muchos casos recurrimos a las prominencias óseas para detener los movimientos en el punto límite normal de la amplitud. (Fernández, F., 2006).
- La masa adiposa también puede limitar la capacidad para desplazarse a través de una amplitud de movimiento completa. La grasa puede actuar como una cuña entre dos brazos de palanca allí donde se encuentre.
- Los músculos y sus tendones, junto con las fascias que los rodean, suelen ser los principales causantes de la limitación de la amplitud de movimiento. Cuando el atleta lleva a cabo ejercicios de elongación para mejorar la flexibilidad de una articulación en particular, está sacando partido de las propiedades altamente extensibles del músculo. A lo largo de un período de tiempo es posible aumentar la extensibilidad o la distancia que se puede estirar un músculo determinado. Las personas que tienen un alto grado de movimiento en una articulación particular tienden a poseer músculos de gran extensibilidad.
- El tejido conectivo que rodea la articulación, como los ligamentos de la cápsula de la articulación, pueden estar sujetos a adherencias y acortamientos patológicos. Los ligamentos y las cápsulas de la articulación tienen cierta extensibilidad; no obstante, si una articulación queda inmovilizada durante cierto período de tiempo, estas estructuras tienden a perder extensibilidad; y de hecho se acortan. Esta afección suele apreciarse después de la reparación quirúrgica de una articulación inestable, pero también puede ser el resultado de largos períodos de inactividad.
- Sistema nervioso: De todos los elementos que componen el músculo estirado voluntario, las proteínas contráctiles constituyen un factor de resistencia que condiciona la magnitud y el alcance de la deformación longitudinal que las acciones de extensión ejercen sobre el mismo para que la elongación pueda ejercer un efecto específico sobre este tejido, resulta crucial la minimización de la tensión restrictiva y limitante que las estructuras contráctiles del músculo tienden, tanto refleja como voluntariamente, a ofrecer. Así, en el caso de una completa relajación neuromuscular, una fuerza externa puede llegar hasta duplicar la longitud normal de reposo del sarcómero conservándose la distancia mínima entre los filamentos delgados y gruesos a los efectos de que se pueda establecer, ante el cambio de las condiciones excitatorias, por lo menos un puente cruzado.

Factores Extrínsecos

- **Sexo:** Las mujeres suelen ser más flexibles que los hombres por las diferencias hormonales que presentan. La mayor producción de estrógenos en las mujeres causa una disminución de la viscosidad de los tejidos. (Ibáñez, A., 1993).
- **Edad:** La flexibilidad alcanza su desarrollo máximo entre las edades infantil y juvenil, entre 14 a 17 años. (Vesz, A., Mota, B., 2004).
- **Calentamiento muscular previo:** El aumento de temperatura disminuye la viscosidad del sarcoplasma mejorando la contractibilidad y la capacidad de elongación del músculo. La temperatura del músculo aumenta debido a 2 mecanismos: el primero tiene relación con el aumento de la circulación sanguínea debido a la dilatación del lecho capilar arterio - venoso intramuscular y de las estructuras vecinas, incluida la piel. El segundo mecanismo se relaciona con las reacciones metabólicas catabólicas que generan la combustión interna y la liberación de energía calórica. (Hidalgo, E., 1993).
- **Temperatura ambiental:** Las bajas temperaturas ambientales se asocian a una disminución de la flexibilidad, en cambio a mayores temperaturas se produce un aumento de esta.
- **Cansancio:** La fatiga muscular produce una disminución del umbral de sensibilidad de los husos, haciéndolos más excitable frente al estiramiento, dificultando la elongación muscular.
- **Costumbres sociales:** Actividades laborales, sedentarismo, entrenamiento, hábitos posturales, etc., pueden aumentar o disminuir la flexibilidad.
- **Estados emocionales:** Influyen en la regulación tónica muscular pues inciden sobre el sistema nervioso. El miedo, el estrés, la ansiedad y el dolor pueden aumentar el tono, mientras que estados de relajación pueden disminuirlo.
- **Hora del día:** La mayoría de las personas suelen ser más flexibles en la tarde que en la mañana, con un peak entre las 14:00 - 16:00 hrs.



Figura 2. Factores que afectan la flexibilidad

TECNICAS DE ELONGACION MUSCULAR

Existen distintos tipos y técnicas de elongación muscular para desarrollar ciertas cualidades específicas dentro de la flexibilidad.

1. Elongación Balística.
2. Elongación Estática asistida o Pasiva asistida.
3. Elongación Activa.
4. Elongación con Facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP).

Elongación Balística

Estiramiento o extensión balística, también conocida como técnica de rebote, las contracciones repetitivas del músculo agonista se utilizan para producir elongaciones rápidas del músculo antagonista. En los estiramientos del tipo balístico, se busca utilizar la velocidad adquirida por el cuerpo o por un miembro en un esfuerzo para forzarlo más allá de su rango normal de movimiento. Esto se realiza provocando rebotes en los límites del movimiento articular.

A lo largo de los años, muchos expertos en preparación física han puesto en entredicho la seguridad de la técnica de elongación balística. Sus preocupaciones se han basado principalmente en la idea de que la extensión balística crea fuerzas en cierto modo incontroladas en el músculo que pueden exceder los límites de extensibilidad de la fibra muscular, produciendo de este modo microdesgarros dentro de la unidad músculo-tendinosa.

La mayoría de las actividades deportivas son dinámicas y requieren movimientos de tipo balístico. Por ejemplo, golpear con fuerza un balón de fútbol cincuenta veces requiere una contracción dinámica repetida del músculo agonista cuádriceps. Los isquiotibiales antagonistas se contraen excéntricamente para decelerar la pierna. La extensión balística de los isquiotibiales antes de realizar este tipo de actividad debe permitir al músculo adaptarse gradualmente a las demandas impuestas y reducir las posibilidades de sufrir una lesión. Puesto que el estiramiento balístico es funcional, debe integrarse en programas de entrenamiento y reacondicionamiento cuando sea apropiado.

Elongación Estática Asistida o Pasiva Asistida

Esta elongación implica el estiramiento de un músculo o grupo muscular determinado hasta el punto en que el movimiento es limitado e impedido por su propia tensión (Alter, M., 1996). El estiramiento se detiene en el punto en que la percepción de la distensión no resulte dolorosa. En este punto, el estiramiento es sostenido, siendo mantenido por un período de tiempo determinado, durante el cual se lleva a cabo la relajación y la reducción de la tensión.

Esta elongación se denomina pasiva porque el individuo no hace ninguna contribución o contracción activa. El movimiento es realizado por un agente externo (uso del peso corporal, ayuda de un terapeuta o compañero, o el uso de algún elemento). Las recomendaciones respecto al tiempo que se debe mantener esta posición varían, con fluctuaciones entre los 3 y 60 segundos. (Prentice, W., 1997).

La elongación pasiva provoca un aumento inmediato en el rango de movimiento articular. La duración de este efecto inmediato en el rango articular ha sido estudiada por Magnusson (1992), quien concluyó que la duración de este aumento era de menos de 30 minutos.

Elongación Activa (Elongación Estático-Activa)

Esta técnica de entrenamiento procura alargar el músculo hasta la posición de estiramiento, por contracción de su agonista. De dicho modo, en este caso, también se impide el reflejo miotático, ya que tampoco se producen ni balanceos ni rebotes y se busca la máxima extensión muscular con la sola participación de las masas musculares que intervienen, ejemplificándolo de un modo más simple, podemos decir que asumimos una posición de estiramiento y la mantenemos, sin la ayuda de otra cosa que la fuerza que de sus músculos agonistas. A diferencia del estiramiento estático pasivo, en este caso no se recibe ayuda de un compañero.

Elongación con Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

La Facilitación Neuromuscular Propioceptiva está basada en la anatomía y la neurofisiología humana con un objetivo terapéutico y deportivo.

La FNP utiliza la mayor cantidad de información posible para lograr una respuesta motora más óptima; para llegar a esta respuesta, utiliza la información propioceptiva, cutánea, visual y auditiva durante la realización de la técnica.

Sherrington, consideró que los impulsos transmitidos desde los receptores de estiramiento periféricos a través del sistema aferente eran la influencia más intensa sobre las motoneuronas alfa (Prentice, W., 1997). Con la descarga de los impulsos nerviosos es posible facilitarlos a través de la estimulación periférica, que trae como resultado que los estímulos aferentes entren en contacto con las neuronas estimuladoras. En consecuencia se produce un aumento del tono muscular o de la fuerza de contracción voluntaria. De la misma forma, las neuronas motoras también pueden inhibirse por medio de la estimulación periférica, que es causante de que los impulsos aferentes entren en contacto con las neuronas inhibitorias, lo que provoca una relajación muscular y permite el estiramiento del músculo.

El estiramiento ejercido sobre las fibras musculares trae como consecuencia el aumento de la frecuencia de los impulsos transmitidos a la médula espinal desde el huso neuromuscular, que a su vez produce un aumento de la frecuencia de los impulsos nerviosos motores que regresan a ese mismo músculo, resistiéndose de este modo de forma refleja al estiramiento. Expresado de otra forma, un exceso de tensión muscular estimula o activa al órgano tendinoso de Golgi, cuyos impulsos sensitivos son transportados de regreso a la médula espinal, estos impulsos tienen un efecto inhibitorio sobre los impulsos motores que regresan a los músculos y por tanto, hacen que dichos músculos se relajen.

Tres son los fenómenos neurofisiológicos que ayudan a explicar la facilitación e inhibición de los sistemas neuromusculares. La inhibición autógena e inhibición recíproca, fenómenos bastante conocidos y estudiados, y la

denominada: máxima contracción - máxima relajación. Esta última se refiere a la inhibición que se produce en el músculo al término de una contracción muscular, la cual es proporcional a la magnitud de la contracción experimentada, por lo que, si se efectúa una contracción máxima se favorecerá después una relajación máxima. (Hidalgo, E., 1993; Prentice, W., 1997).

Tipos de Técnicas de Elongación con FNP

Con las bases neurofisiológicas anteriormente descritas se desprenden distintas técnicas de elongación, utilizando diferentes tipos de contracciones musculares.

Los dos tipos principales de elongación con FNP, que Viel llama también técnicas de relajación, son: mantener - relajar y contraer - relajar. (Viel, E., 1989).

Técnica de Mantener - Relajar

Se mantiene la extremidad a elongar en el punto de máxima amplitud articular no dolorosa; luego, el paciente opone una resistencia isométrica al intento del terapeuta por ampliar el estiramiento del músculo deseado. Posteriormente, el paciente relaja la musculatura y se mueve pasivamente el segmento hasta su nueva amplitud.

Técnica de Contraer - Relajar

Al igual que en la técnica anterior, se conduce el segmento al máximo de la amplitud articular no dolorosa y se solicita en este caso, una contracción isotónica del grupo muscular elongado. El terapeuta pide seguidamente una relajación completa y se mueve pasivamente el segmento a la nueva amplitud.

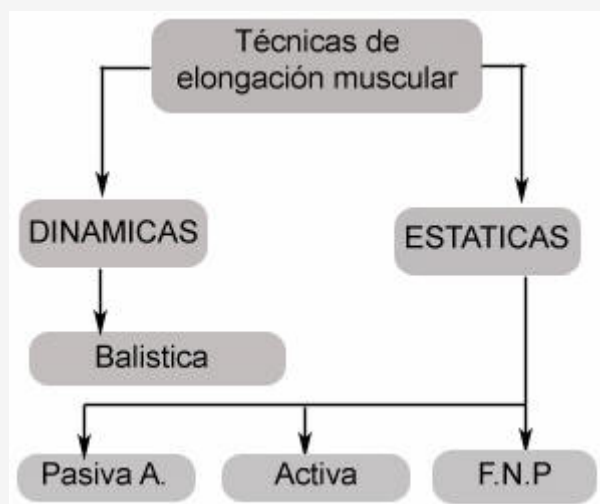


Figura 3. Técnicas de elongación muscular.

FUNDAMENTOS TEORICOS: MECANICA DE LA ELONGACION MUSCULAR

La elongación muscular puede ser considerada como un estímulo externo que actúa tanto a nivel del sistema músculo esquelético como en el sistema nervioso, es por eso que para poder entender como y donde actúa la elongación muscular, primero debemos tener presente la anatomía, fisiología y el control del sistema neuromuscular.

Modelo Mecánico del Músculo: Modelo de Hill

El total de tensión activa que el sistema muscular puede generar equivale a la suma de la tensión ejercida por el conjunto de sus componentes. (Halbertsma, J., et al. 1996).

Por su estructura y sus características funcionales, debe considerarse al músculo esquelético como un sistema integrado

por tres elementos constituyentes:

- a. El componente contráctil (CC), constituido por los miofilamentos de actina y miosina, que presenta un doble comportamiento: una parte es capaz de manifestar efectos contráctiles debido a las interacciones entre la actina y miosina, y otra parte evidencia un comportamiento elástico; de manera que, cuando es elongado por un sistema de fuerzas externo, evidencia una notable tendencia a recuperar su longitud inicial (de reposo). Esta propiedad, que es independiente de los componentes conectivos elásticos del sistema, se explica por efectos de interacción de índole molecular no conocidos en detalle. Estos efectos son ejercidos tanto por el sistema actina miosina como por el conjunto de elementos de estabilización (titina y nebulina), que cumplen funciones decisivas en el mantenimiento de la estructura en trama reticular de los miofilamentos. (Astrand, P., Rodahl, K., 1997).
- b. El componente conectivo elástico dispuesto en paralelo (CEP) respecto al CC está formado por la matriz extracelular de colágeno; epimisio, perimisio, endomisio y la propia membrana plasmática de la fibra muscular (Kovanen, V., 2002; Wang, K., et al. 1993). Estas estructuras presentan una elevada tendencia elástica y son las responsables primarias de la capacidad de generar la tensión que el músculo soporta después de ser sometido a un efecto de estiramiento. (Street, S., 1983).
- c. El componente conectivo elástico dispuesto en serie (CES) respecto al CC, está formado por el tendón y otros elementos de inserción ósea, caracterizados por su alto comportamiento elástico, dado el gran predominio de tejido fibroso, tolerando fuerzas elevadas de tracción sin romperse y con gran capacidad de transmisión de la fuerza.

En el transcurso de la contracción, el comportamiento del conjunto de estos componentes puede esquematizarse así:

- a. Durante la contracción muscular se produce el acortamiento del sarcómero, con disminución de la longitud total del sistema (en el caso de las contracciones concéntricas) o sin que éste se vea modificado (como ocurre en la isométrica). La disminución de longitud del CC, actúa distendiendo el CES, en grado variable, en función de la intensidad de la contracción y de la magnitud de la resistencia a vencer.
- b. En el curso de la relajación muscular, una vez cesado el efecto contráctil, el músculo recupera su longitud inicial, siempre que no existan fuerzas externas que lo impidan, por ejemplo, la contracción de los antagonistas o el propio peso corporal. Interviene en ello la elasticidad del sistema muscular.
- c. Cuando el sistema muscular es sometido a tensión, se produce la elongación del conjunto de elementos que lo integran, tanto los situados en serie como en paralelo. Esta acción es especialmente significativa para el CEP por presentar una alta capacidad de almacenamiento de energía elástica potencial, dada la presencia de fibras elásticas. El CEP no es el único responsable de la elasticidad muscular, aunque juegue un importante papel y, en algunos movimientos, pueda ser el responsable principal. El músculo, en estas condiciones, tenderá a recuperar la longitud de reposo. (Astrand, P., Rodahl, K., 1997).

Comportamiento del Músculo Frente a la Elongación

El sistema sensorial recibe información de cinco tipos principales de receptores:

1. Mecanorreceptores, que responden a fuerzas mecánicas tales como la presión, el tacto o el estiramiento.
2. Termorreceptores.
3. Nociceptores.
4. Fotorreceptores.
5. Quimiorreceptores.

Las terminaciones nerviosas libres detectan el tacto, la presión, el dolor, el calor y el frío. Por lo tanto, funcionan como mecanorreceptores, nociceptores y termorreceptores.

Las terminaciones nerviosas especiales de los músculos y de las articulaciones son de muchos tipos y tienen muchas funciones, y cada tipo es sensible a estímulos específicos, estos son algunos (Wilmore, J., Costill, D., 1998):

1. Los receptores cinestésicos articulares.
2. Los husos musculares.
3. Los órganos tendinosos de Golgi (OTG).

Entrada sensorial: las sensaciones y el estado fisiológico son detectados por receptores sensoriales a lo largo del cuerpo. Las áreas donde terminan los impulsos sensoriales reciben la denominación de centro de integración. Aquí es donde la entrada sensorial es interpretada y transmitida al sistema motor. Estos centros de integración varían en su función (Wilmore, J., Costill, D., 1998):

- Las señales que se integran en la médula. Producen como respuesta un reflejo motor sencillo.

- Las señales que terminan en la parte inferior del tronco cerebral producen reacciones motoras subconscientes de una naturaleza más elevada y compleja. El control postural al estar sentado, de pie o moviéndose es un ejemplo de este nivel.
- Las señales sensitivas que terminan en el cerebelo también dan como resultado un control subconsciente del movimiento. Es el centro de coordinación, suavizando el movimiento al coordinar las acciones de los diversos grupos musculares. La motricidad fina como la gruesa parecen estar coordinados por el cerebelo en concierto con los ganglios basales.
- Las señales sensitivas que terminan en el tálamo comienzan a entrar en el nivel de la conciencia, y entonces comenzamos a distinguir varias sensaciones.
- Sólo cuando las señales sensitivas entran en la corteza cerebral podemos localizar moderadamente la señal. La corteza sensitiva primaria, localizada en la circunvalación postcentral (en el lóbulo parietal), recibe entradas sensitivas generales desde los receptores de la piel y desde los propioceptores de los músculos, tendones y articulaciones.

Control Motor

El impulso sensorial evoca una reacción a través de una neurona motora la cual controla el músculo esquelético.

Cuando el nivel de control se desplaza desde la médula espinal hasta la corteza motora, el grado de complejidad del movimiento se incrementa desde un control reflejo sencillo hasta movimientos complicados que requieren procesos básicos de pensamiento. Respuestas motoras complejas se originan generalmente en la corteza motora del cerebro.

Actividad Refleja

En la médula espinal, los impulsos son integrados instantáneamente por las interneuronas que conectan las neuronas sensitivas y motoras. Un reflejo es una respuesta programada. Esta actividad refleja esta mediada por receptores que se encuentran ubicados en distintos lugares del músculo esquelético: los husos musculares y OTG.

Husos musculares: El huso es una estructura cilíndrica, alargada, con su parte central más gruesa. Contiene en su interior dos o más fibras musculares transformadas y especializadas funcionalmente como mecanorreceptores de elongación. A estas fibras por encontrarse dentro del huso se les llaman intrafusales y para diferenciarlas del resto de las fibras musculares esqueléticas, a estas últimas se les llama fibras extrafusales.

La parte central de la fibra intrafusil está inervada por dos tipos de axones mielínicos, que las alcanzan después de atravesar la cápsula del huso: las fibras Ia o aferentes primarias, que son las de mayor diámetro y las fibras del tipo II o secundarias, de diámetro pequeño. En el interior del huso, cada terminal Ia se enrolla alrededor de la parte central de una fibra intrafusil, formando un espiral, de ahí su nombre de terminales anulo - espirales. La parte central de la fibra es un segmento no - contráctil por lo que, cuando ésta es estirada, el espiral se distorsiona, cambio que representa un estímulo mecánico que genera en él potenciales de acción que viajan hacia el sistema nervioso central. Por eso las fibras Ia, son aferentes.

acia cada extremo de la zona central, la fibra intrafusil presenta tejido contráctil, el cual está inervado por axones que vienen del sistema nervioso central y que se originan en neuronas motoras eferentes ubicadas en la médula espinal: las motoneuronas gama. Los potenciales de acción que llegan por estos axones, a las fibras intrafusales, provocan la contracción de la parte contráctil de ellas lo cual puede inducir, por estiramiento de su parte central, la generación de potenciales desde los terminales Ia.

A través de las fibras Ia el sistema nervioso recibe constantemente información de grado de elongación de los diferentes músculos. A través de las fibras gama, se puede regular la sensibilidad de ese receptor de elongación. (Belmar, J., 2004).

Órgano tendinoso de Golgi (OTG): Son receptores sensoriales encapsulados, a través de los cuales pasa un pequeño haz de fibras de tendones musculares. Estos órganos están situados proximalmente a las uniones de las fibras de los tendones con las fibras musculares. Entre 5 y 25 fibras musculares suelen estar conectadas con cada órgano tendinoso de Golgi. Estas estructuras son sensibles a la tensión en el complejo músculo - tendón y operan como un indicador de la intensidad del esfuerzo, su sensibilidad es tan grande que pueden reaccionar a la contracción de una sola fibra muscular. Llevan a cabo una función protectora: cuando son estimulados estos receptores inhiben los músculos que se contraen (agonistas) y excitan los músculos antagonistas. (Wilmore, J., Costill, D., 1998).

Nivel de Integración del Estímulo de Estiramiento Muscular en la Elongación

El estímulo de estiramiento que recibe el músculo, es integrado en diversos niveles del sistema nervioso central (SNC), dependiendo de la magnitud de este estímulo. El estímulo aferente es utilizado para elaborar una respuesta motora, tanto

a nivel medular, provocando un acto reflejo pre - programado con un fin protector, como a nivel de la parte inferior del tronco cerebral y del cerebelo, manteniéndolo informado sobre la posición actual del cuerpo (a través de los propioceptores) lo cual contribuye a la mantención del equilibrio y de la postura.

La información que se produce a través del estiramiento, es utilizada por el SNC, para la elaboración más efectiva de movimientos voluntarios por parte de la corteza motora primaria.

En un principio esta aferencia, provocada por una maniobra de elongación muscular sub - máxima, provocaría un acto reflejo simple de protección (contracción muscular), seguido de una relajación muscular refleja mediada por el OTG si el estímulo persiste. El estímulo sensitivo asociado a esta acción (debido a los mecanorreceptores sometidos a tensión) iría hasta los centros superiores del cerebro, dándonos la percepción conciente de estiramiento. (Belmar, J., 2004; Hidalgo, E., 1993; Wilmore, J., Costill, D., 1998).

FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS DE LA ELONGACION MUSCULAR

En una elongación muscular, son variadas las estructuras puestas en tensión; a grandes rasgos se puede decir que la elongación ocurre en el músculo y en el tejido conectivo intramuscular más que en el tendón, el cual es substancialmente más rígido que el músculo (De Deyne, P., et al. 1999). Un punto importante a destacar es que diferentes músculos presentan distintas propiedades pasivas y por ende distintas respuestas a la elongación muscular. Esto dependiendo de factores estructurales tales como el ángulo de sus fibras, la longitud de su tendón, su área transversal (Gareis, H., et al. 1992), y otros factores como el tipo de fibras que lo componen (Gajdosik, R., 1995).

Una fuerza dirigida a elongar un músculo es transmitida vía tejido conectivo (perimisio, endomisio); a través de la membrana muscular (sarcolema) a los elementos no contráctiles (complejo citoesquelético o costámeros) en la línea Z.

En primera instancia el estiramiento se hace a expensas del componente elástico, en serie y en paralelo. En el caso del componente en paralelo, participará sólo en la medida que la persona haga un esfuerzo consciente y logre inducir una relajación del componente contráctil. Si el componente contráctil está en reposo, permitirá que el componente en paralelo sea elongado, de lo contrario la elongación muscular se hará sólo a expensas del componente en serie y la acción se verá anulada en el componente en paralelo, por la contracción de la fibra muscular que se opondrá a la elongación. (Shrier, I., 1992).

La elongación de la fibra muscular propiamente tal, comienza en el sarcómero. En la relajación que acompaña a la elongación no hay estímulos que desencadenen el proceso de la contracción (en teoría no hay puentes cruzados entre actina y miosina) por lo que no hay acortamiento del sarcómero; así los sarcómeros ubicados en serie en una fibra, permiten que ésta tenga su máxima longitud anatómica (las bandas I del sarcómero alcanzan su máxima longitud). Sin embargo a pesar de la relajación voluntaria del individuo, las proteínas contráctiles del músculo generan una resistencia inicial al estiramiento pasivo, esta resistencia es debida a la existencia de un pequeño número de puentes cruzados que están presentes incluso con el músculo relajado, los cuales se forman y se separan espontáneamente (Hill, D., 1968). Este fenómeno de la formación y separación cíclica de puentes cruzados es considerado como el responsable del comportamiento "tixotrópico" del músculo, este es un término reológico (ciencia que estudia el comportamiento de los fluidos) usado para describir el cambio en la viscosidad de un gel y su resistencia a la deformación molecular cuando es sometido a diversas fuerzas (Björklund, M., 2004). Este fenómeno ocurre también en las fibras musculares intrafusales, según esta propiedad, cualquier actividad previa a la elongación, puede incrementar o disminuir el nivel de rigidez del músculo, es decir, su resistencia pasiva a la elongación y paralelo a ello modificar la respuesta de los reflejos de estiramiento al actuar también sobre las fibras intrafusales (Hutton. S., 1992). Este puede ser un posible mecanismo que explique cómo técnicas que solicitan la contracción muscular previa a la elongación podrían aumentar el rango articular.

Otro punto importante a considerar es que no todos los sarcómeros se estiran en la misma medida, es decir, que cuando un músculo es estirado, el estiramiento no es uniforme en toda la longitud. Los sarcómeros próximos a los tendones se estiran en mucho menor medida que los sarcómeros situados en la parte central de un músculo. (Alter, M., 1996).

Fundamentos Neurofisiológicos de la Elongación Muscular

Ley del todo o nada: si un estímulo (por ejemplo una elongación) satisface el umbral, para generar el potencial de acción, se iniciará un impulso nervioso a través del axón, produciendo la estimulación de toda la fibra.

El nervio tiene dos medios por los cuales puede transmitir información sobre el estiramiento de intensidades diferentes. *Primero:* puede transmitir la sensación de estiramiento sobre un número variable de fibras nerviosas, esto es la llamada

suma espacial, por consiguiente la intensidad del estiramiento puede ser incrementada aumentando el reclutamiento de órganos receptores.

Segundo: el nervio puede transmitir cantidades diferentes de impulsos de estiramiento por unidad de tiempo sobre la misma fibra. Cuanto más intenso sea el estímulo de estiramiento, mayor será la frecuencia del impulso, esto es la llamada suma temporal. (Alter, M., 1996).

Proceso de Excitación del Huso Muscular

El huso se estimula y responde (despolarización de la terminación sensitiva) cuando el músculo en el que se encuentra es estirado pasivamente. También responde cuando, por control del circuito medular gamma, las fibras musculares intrafusales son contraídas, lo cual desencadena un estímulo en el aparato ánulo - espiral, que viaja a la médula, penetra por sus astas posteriores y allí hace sinapsis con las neuronas motoras alfa que inervan a las fibras extrafusales del propio músculo del cuál procede el estímulo, como también de sus sinérgicos, facilitando su acción.

Reflejo Miotático Inverso o Inhibición Autógena

Cuando la intensidad de estiramiento sobre un tendón excede un determinado punto crítico, se produce un reflejo inmediato que inhibe a las neuronas motrices del asta anterior que inervan al músculo. Como consecuencia de ello el músculo se relaja y la tensión excesiva es eliminada. Esta reacción es posible sólo debido a que el impulso de los órganos tendinosos de Golgi es lo bastante potente como para eliminar los impulsos excitatorios que provienen de los husos musculares. Esta respuesta de relajación frente a un estiramiento intenso es llamada reflejo miotático inverso o inhibición autógena.

Este reflejo puede explicar un fenómeno interesante que se produce cuando se intenta mantener una posición de estiramiento que desarrolle una tensión máxima: es decir, súbitamente se llega a un punto en que la tensión desaparece y el músculo puede ser estirado aún más. (Alter, M., 1996).

EFFECTO INMEDIATO DE LA ELONGACION SOBRE LAS PROPIEDADES DEL MUSCULO ESQUELETICO (SHORT TERM EFFECTS)

Estudios realizados demuestran que el incremento en el rango articular posterior a las técnicas de elongación, se debe a que estas disminuyen la viscoelasticidad del músculo, y a la vez aumenta la *compliance* o distensibilidad de éste (Fowles, J., Sale, D., 2000; Shrier, I., 1999).

La **compliance** se define como el recíproco de la rigidez (*stiffness*); matemáticamente es igual al cambio de la longitud que ocurre en un tejido, dividido por la fuerza aplicada para alcanzar el cambio de longitud (Shrier, I., 2002).

Cuando hablamos de la **viscoelasticidad** del músculo nos referimos a la presencia de un comportamiento elástico y a la vez un comportamiento viscoso, ambos tienen influencia sobre la resistencia pasiva que el tejido presenta.

El concepto elástico hace relación con una propiedad del tejido muscular en el cual, al presentar un cambio de longitud para una fuerza dada, éste volverá a la longitud original inmediatamente después del cese de la fuerza; este efecto no es dependiente del tiempo, contrariamente a lo que ocurre con las sustancias viscosas, que presentan fluido y movimiento dependientes del tiempo. En una deformación plástica en cambio, el material o tejido se mantiene deformado permanentemente incluso después del cese de la tensión.

El comportamiento viscoso por su parte, experimentalmente produce lo que es llamado el deslizamiento o "**creep**" que es una de las propiedades viscosas del músculo, este deslizamiento se produce si la fuerza o tensión se mantiene constante en un tejido, el cual va progresivamente aumentando de longitud. Otra propiedad viscosa es la denominada "**relajación por estrés**" en la cual la tensión del tejido disminuye cuando la longitud de este se mantiene constante (Hutton, S., 1992). Esta relajación por estrés fue observada in vivo en la musculatura isquiotibial por Magnusson et al. (1992).

La "histéresis" es el grado de relajación que experimenta un tejido durante la deformación y el desplazamiento; si se exceden las limitaciones físicas y mecánicas del tejido, se produce una lesión (Prentice, W., 1997).

Todas estas propiedades expuestas nos permiten entender en parte como actúa o como afecta la elongación muscular sobre el músculo, los tejidos conectivos que lo rodean y al tendón.

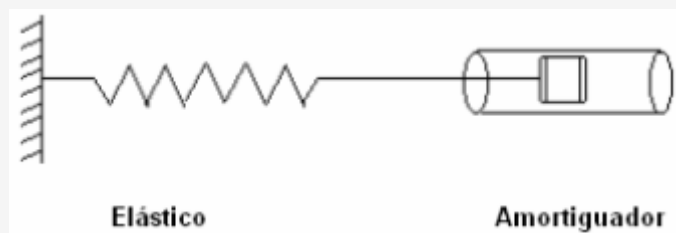


Figura 4.

Figura 4 Modelo mecánico del músculo: Un material viscoelástico se suele definir como un fluido que presenta propiedades intermedias entre un sólido perfectamente elástico y un fluido perfectamente viscoso. Esta situación tiene una analogía con este dispositivo mecánico, en donde la relación entre esfuerzo y deformación sobre esta estructura viscoelástica se asemeja a la que habría en un sistema constituido por un resorte más un amortiguador (un cilindro sumergido en un fluido viscoso). El desplazamiento de todo el sistema se hace a expensas de vencer la resistencia del **resorte y del amortiguador**. El componente elástico está dado por el resorte, el cual al ser sometido a una fuerza externa se deforma hasta cierto punto y vuelve a su longitud de reposo luego del cese de la fuerza, mas allá de este punto se produce una deformación permanente del sistema (límite elástico). La deformación del resorte es independiente del tiempo de aplicación de la fuerza. En el músculo esta parte del sistema estaría representado por los componentes elásticos en serie y en paralelo como también en parte por el sistema contráctil, los cuales representan una resistencia fundamentalmente elástica a la elongación muscular debido a su composición molecular. En el caso del amortiguador, el desplazamiento que se produce es proporcional al tiempo de aplicación de la fuerza, a su vez la vuelta a su longitud de reposo tiene un componente que es mediado por el tiempo. En el músculo esta estructura estaría representada principalmente por el sistema contráctil del músculo, fibras musculares, sarcolema y el sarcoplasma, los cuáles actuarían de cierta forma como el componente viscoso de toda esta estructura.

Mecanismos Subyacentes a los Cambios Inmediatos del Rango Articular

La resistencia a cualquier movimiento, ya sea pasivo o activo, puede estar dada por cualquiera de las siguientes restricciones (Hutton, S., 1992):

1. Restricciones neurogénicas: por ejemplo: control voluntario y reflejo sobre el grupo muscular a elongar.
2. Restricciones miogénicas: propiedades resistivas pasivas y activas del músculo a elongar.
3. Restricciones articulares: las estructuras que rodean a la articulación como la cápsula y ligamentos generan fuerzas que se oponen al deslizamiento de las superficies articulares.
4. Restricciones de la piel y tejido conectivo subcutáneo.

De los cuatro tipos de restricciones, sólo en el nivel uno y dos, la elongación juega un rol preponderante, ya que esta actúa directamente sobre el tejido muscular por una acción mecánica de la fuerza externa, como también a nivel neurológico en el sistema nervioso central y periférico, que involucra el control voluntario del sujeto durante la relajación, que se necesita previa a la elongación.

La elongación puede incrementar la extensibilidad de los tejidos blandos a través de 3 mecanismos:

- Deformación viscosa: cambios en las propiedades viscoelásticas, explicadas anteriormente, que corresponde a un fenómeno mecánico que probablemente puede ser revertido en minutos u horas.
- Alteración de la percepción de estiramiento: en este caso el individuo es capaz de tolerar cada vez mayores tensiones durante la elongación, esto debido a mecanismos que serán explicados más adelante.
- Adaptaciones estructurales: cambios en la estructura muscular frecuentemente asociados a protocolos de elongación prolongados en el tiempo.

El aumento inmediato del rango articular post elongación ha sido confirmado por estudios que han utilizado protocolos de elongación pasiva y elongación a través de FNP. (López, C., Fernández A., 1995; Wiemann, K., Klee, A., 1992; Hernandez, P., et al. 2005).

Relación Elongación - Fuerza

Diversos estudios (Condon, S., Hutton, R., 1987; Cramer, J., et al. 2004; Evetovich, T., 2003; Fowles, J., Sale, D., 1996; Fowles, J., Sale, D., 2000) se han realizado para determinar la relación existente entre elongación y fuerza muscular,

obteniéndose resultados contradictorios. Los estudios más recientes indican que las elongaciones musculares reducen la fuerza en todas sus variantes, así como también el rendimiento deportivo inmediatamente después de su aplicación (Figuras 5, 6 y 7).

Wiemann y Klee (1992) desarrollaron un estudio en el cual deportistas realizaron 15 minutos de elongación de extensores y flexores de cadera entre sprints de 40 m., el desempeño empeoró alrededor de 0.14 s, mientras que el grupo control, que en vez de elongaciones realizó un trote suave de 15 minutos entre los sprints mejoró su tiempo en alrededor 0.03 s.

Gulich y Schmidtbleicher (2000) trataron de explicar la reducción del rendimiento en el salto alto inmediatamente después de un protocolo de elongación, esta reducción se mantuvo luego de 30 minutos debido a una disminución en la activación neural de los músculos. De acuerdo a ellos, una rutina de elongación provocaría una disminución en la velocidad y la fuerza de un músculo.

En el estudio de Fowles y Sale (2000) se recrearon condiciones de elongación para los plantiflexores de tobillo, se observó que efectivamente después de aplicado un protocolo de elongación, la tensión pasiva del músculo disminuía, así como la longitud del músculo aumentaba. En cuanto a la contracción voluntaria máxima, el grupo experimental obtuvo valores de fuerza 28% menores al grupo control.

Esta disminución de la fuerza se atribuyó a diversos factores, algunos relacionados con el músculo propiamente tal, como también factores relacionados con la activación neural de éste.

Entre los factores relacionados con el músculo, se pueden mencionar cambios en la relación longitud - tensión y la deformación plástica del tejido conectivo, las cuales son fundamentales a la hora de generar una fuerza máxima.

En lo concerniente a la relación longitud - tensión se ha demostrado a través de estudios de ultrasonografía que la elongación muscular produce un aumento de la longitud del vientre muscular, no así del tendón. Esto podría explicar en parte la disminución de la fuerza ya que el músculo podría haberse encontrado en una parte de la curva longitud - tensión menos óptima para la generación de fuerza.

Por otro lado si la matriz extracelular de colágeno, parte fundamental en la producción de la fuerza del músculo (Street, S., 1983), se viera afectada por un sobre - estiramiento que alcanzara el límite de deformación plástica, la capacidad de ésta de generar la presión interna necesaria para la contracción se perdería y por lo tanto la contracción sería menor. (Magnusson, S., et al. 1996). Durante una sesión de entrenamiento de la fuerza, las fuentes metabólicas son depletadas cada vez más, lo que significa que la fuerza máxima capaz de ejercer un músculo disminuye repetición tras repetición, como resultado de esto la tensión a la que se ven sometidas las distintas estructuras musculares es cada vez menor. En cambio en una rutina de elongación la tensión en las estructuras musculares aumenta, ya que la tensión que tolera el individuo es cada vez mayor por la adaptación de los receptores de dolor, lo cual se traduce en cada vez mayores amplitudes de movimiento. Esto puede provocar que el individuo pueda alcanzar o sobrepasar el límite máximo de carga para las estructuras pasivas del músculo, es decir, provocar un microtrauma sin tener ninguna sensación de ruptura muscular, lo que traería consigo una disminución de su rendimiento. La literatura demuestra (Shrier, I., 2004) que leves aumentos de longitud, de aproximadamente el 20% de la longitud de reposo de las fibras puede causar un daño en las fibras musculares, resultando en una disminución de la fuerza.

Los factores relacionados con la activación neural del músculo se relacionan principalmente con la activación del órgano tendinoso de Golgi, mecanoreceptores y nociceptores. Cuando se activa el OTG en una elongación muscular, se inhibe la activación del músculo agonista, lo que se traduce en una menor producción de fuerza neta, sólo una elongación muy intensa puede activar este reflejo (Hill, D., 1968). Los mecanoreceptores (tipo III aferente) y los nociceptores (tipo IV aferente) por su parte, pueden reducir la conducción hacia el SNC. (Bigland - Ritchie, B., 1992; Mense, S., Meyer, H., 2000).

Así como encontramos estudios que indican que la elongación muscular es perjudicial para la generación de la fuerza, existen diversos estudios por su parte, que señalan que un protocolo de elongación mejora el rendimiento muscular. Estos estudios se basan en pruebas más bien funcionales que analíticas al momento de evaluar el desempeño muscular (Figuras 5, 6 y 7).

El principio en el cual se basan la mayoría de estos estudios, es que la elongación muscular, entre otras cosas, disminuye la viscoelasticidad del tendón y el músculo (Magnusson, S., 1992; Kubo, K., Kanehisa, H., 2001), lo que disminuye la rigidez (*stiffness*) de éste, dando como resultado un menor requerimiento de energía para mover el miembro, por lo que con una misma cantidad de energía, la fuerza y la velocidad de la contracción resultante puede estar incrementada.

Cacchi et al. en el año 1987 realizó una investigación en la cual estudiantes universitarios realizaban tres test: squat jump, salto vertical con contramovimiento y el power test en 15'', en un primer momento estos test se desarrollaron sin la

aplicación de ningún tipo de elongación y posteriormente con la aplicación, primero de elongación pasiva y después de elongación con FNP. En los individuos examinados se advirtió una influencia positiva de los protocolos de elongación, las mejorías más altas en promedio se registraron después de la aplicación de elongación por FNP.

Otro estudio realizado por Worrel et al. en 1994 observó experimentalmente un aumento del torque máximo isocinético post elongación. Este estudio se realizó en 19 sujetos sometidos a dos técnicas de elongación de isquiotibiales: pasiva asistida y con FNP, luego de esto se midió el rango articular y el torque isocinético máximo. Como resultado no hubo una diferencia significativa en los ROM entre ambas técnicas de elongación, sin embargo, el torque máximo alcanzado después de ambos protocolos de elongación fue considerablemente mayor al torque máximo basal, con valores de aumento de + 21.3% para la elongación pasiva y de + 25.7 para la elongación con FNP, estos valores fueron alcanzados en condiciones de contracción excéntrica a 60º y a 120º por segundo y concéntrica solo de 120º por segundo.

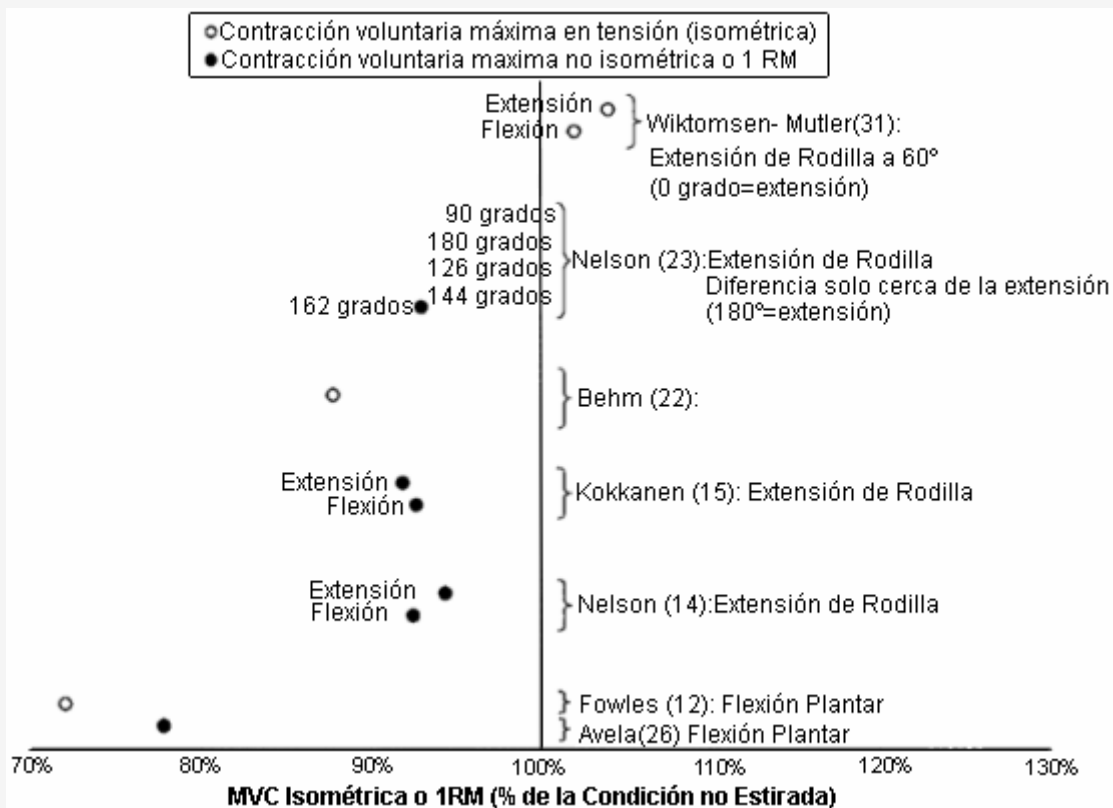


Figura 5. MVC isométrica de la extremidad elongada expresada como porcentaje de la extremidad no elongada. Extraído de Shrier (2004).

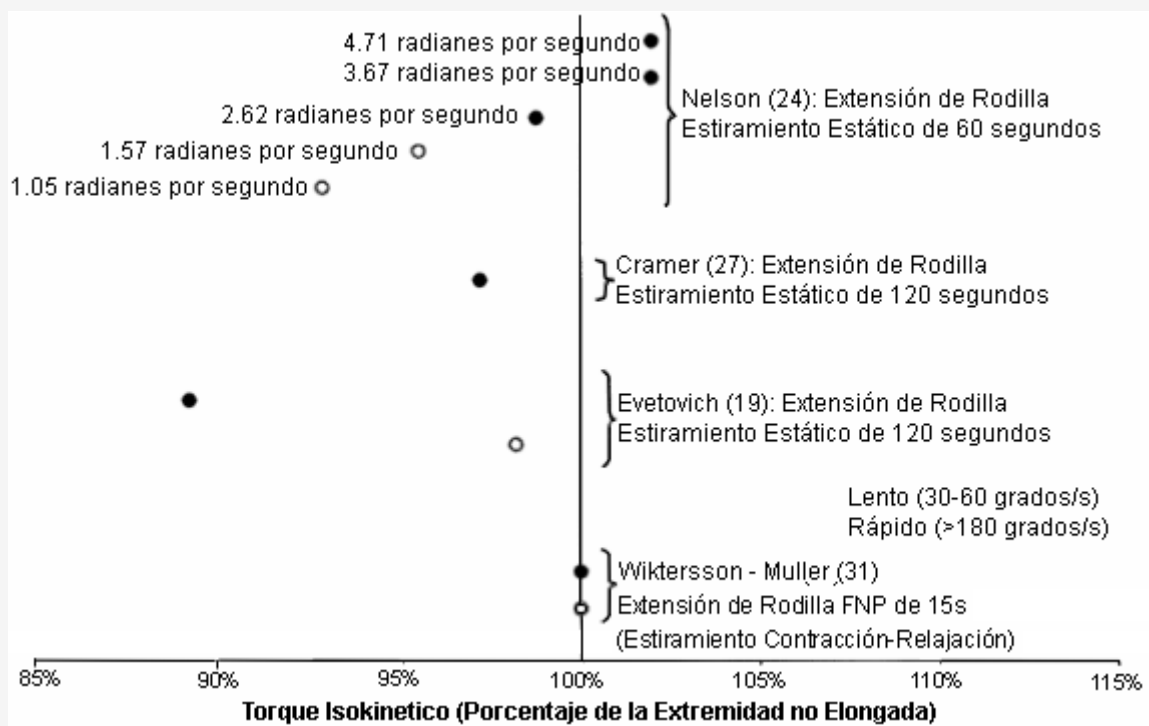


Figura 6. Torque isocinetico de la extremidad elongada expresada como porcentaje de la extremidad no elongada. Extraído de Shrier (2004).

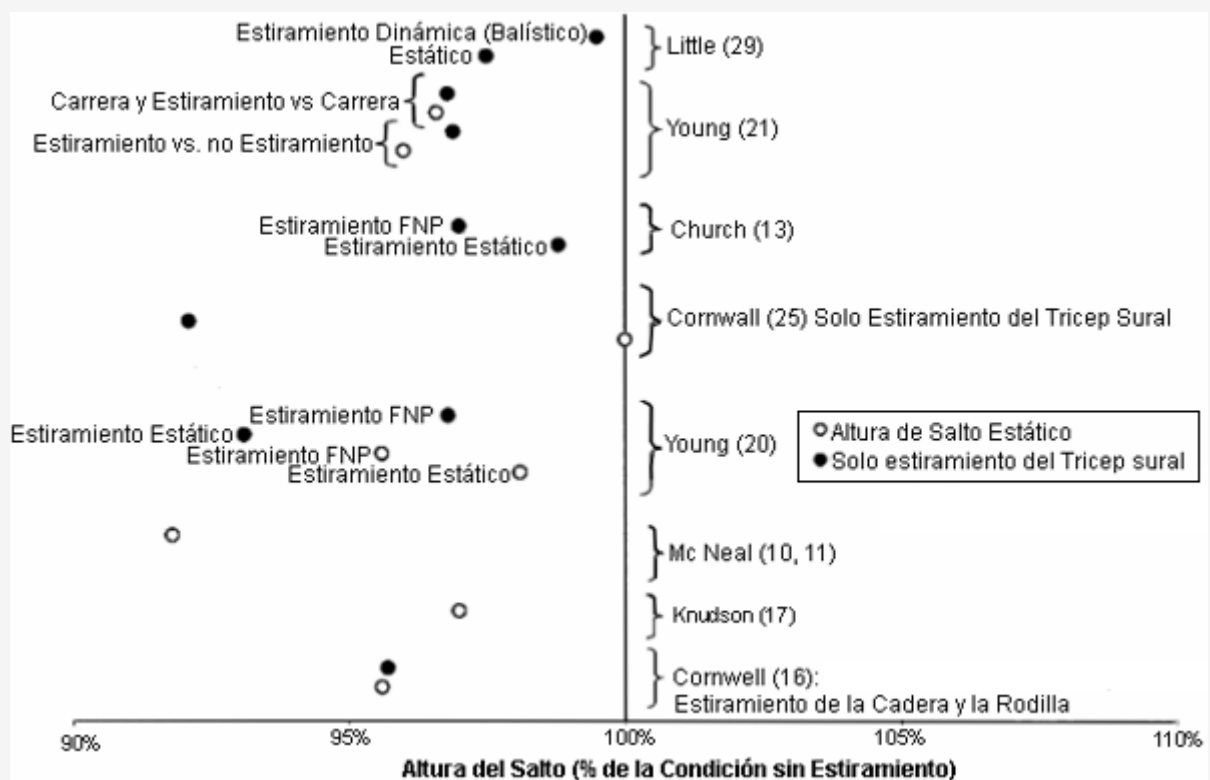


Figura 7. Altura del salto estático y con contramovimiento de la extremidad elongada expresada como porcentaje de la extremidad no elongada. Extraído de Shrier (2004).

EFFECTO A LARGO PLAZO DE LA ELONGACION SOBRE LAS PROPIEDADES DEL MÚSCULO ESQUELETICO (LONG TERM EFFECTS)

Antes de comenzar a analizar los efectos a largo plazo de la elongación sobre el músculo esquelético, conviene aclarar los mecanismos a través de los cuales estos efectos se producen.

Las preguntas en este caso serían: ¿Qué significa que una técnica produzca efectos a largo plazo? ¿Puede un programa de entrenamiento de la flexibilidad provocar efectos duraderos en el tiempo? ¿Qué cambios a nivel neuromuscular queremos lograr cuando aplicamos un programa de entrenamiento de la flexibilidad?.

Respondiendo a estas preguntas podemos decir que los efectos a largo plazo involucran todos aquellos cambios, observables o no, a nivel neuromuscular, producto de un entrenamiento sistemático de la flexibilidad muscular.

Por lo general una sesión de entrenamiento tiene una duración aproximada de 10 a 20 minutos en la cual se ejecutan de 3 a 5 series de 3 a 10 repeticiones cada una, todo esto dependiendo en primer lugar del grupo muscular que se este elongando, del objetivo y del tipo de elongación específica para cada deporte, del periodo de entrenamiento en el cual se encuentre, del nivel de actividad del individuo y de la intensidad a la cual se este realizando la elongación, ya sea maximal o submaximal.

Un programa de entrenamiento de la flexibilidad se define como un programa regular de ejercicios, deliberado y planificado, que puede aumentar progresiva y permanentemente el ROM utilizable de una articulación o serie de articulaciones en un período determinado (Alter, M., 2004).

Experimentalmente se ha demostrado que existen cambios de tipo anatómico morfológico y molecular en distintos niveles, ya sea el tejido muscular propiamente tal, como en sus cubiertas conectivas, tendón e incluso a nivel de receptores nerviosos periféricos: huso muscular, OTG y receptores de dolor.

En la practica todos estos cambios involucran una deformación permanente o deformación “plástica” del tejido muscular, en otras palabras, lo que se busca fundamentalmente es provocar una deformación que perdure en el tiempo, que mantenga los niveles de extensibilidad muscular dentro de los rangos requeridos para el deporte específico o simplemente para estar dentro de rangos no patológicos de extensibilidad o distensibilidad muscular.

Esta teoría de la deformación plástica del tejido y el modelo mecánico que se ha propuesto del músculo, falla al explicar el porque de estas deformaciones, ya que el tejido muscular a diferencia de tejidos inertes tiene la capacidad de modificar sus propiedades físicas de acuerdo a una serie de factores explicados anteriormente (sexo, edad, calentamiento previo, etc.). Este tejido que se podría denominar como un “tejido dinámico”, puede alterar sus características viscoelásticas de forma semipermanente con la aplicación repetida y sistemática de técnicas de elongación, a su vez si un músculo que se encuentra teóricamente en su longitud optima, no es sometido a cargas que mantengan este grado de extensibilidad, puede, producto de su misma tendencia a recuperar o volver a su longitud inicial, llevar a un acortamiento patológico del vientre muscular. En resumen, no es posible lograr a una deformación netamente plástica del músculo que perdure indefinidamente en el tiempo, por esta razón la flexibilidad es considerada como un “ente” dinámico que varia de acuerdo a muchos factores, entre los cuales destaca el entrenamiento sistemático, ordenado y planificado de la flexibilidad.

Los efectos a largo plazo de la elongación o mejor dicho de un programa de entrenamiento de la flexibilidad, han sido estudiados ampliamente por distintos investigadores, con la dificultad intrínseca que conlleva evaluar y realizar un seguimiento a largo plazo de una cualidad tan específica y variable como lo es la flexibilidad. Al igual que en un evento único y agudo de elongación, los programas de entrenamiento traen consigo diversos cambios estructurales, anatómicos y morfológicos en el sistema muscular, dentro de los cuales destaca un cambio semipermanente en las características viscoelásticas del músculo que ya analizamos en la sección anterior.

Actualmente se ha propuesto que existe un aumento del rango articular por la formación de nuevos sarcomeros en la fibra muscular (De Deyne, P., 2001), esta innovadora hipótesis esta basada en nuevos mecanismos biomecánicos, neurológicos y moleculares que tendrían como consecuencia la mofibrilogenesis (formación de nuevos sarcomeros).

Los mecanismos biológicos y moleculares consecuentes a la aplicación de una elongación pasiva sobre un músculo, aparentemente son conocidos. La transmisión de la fuerza se produce a través de una cadena de interacciones entre proteína y proteína, dando lugar a una cascada de señales biológicas intra e intercelulares lo que finalmente provocaría la miofibrilogenesis. Los mecanismos propuestos son los siguientes:

1) La fosforilación de proteínas integrales de la membrana asociadas al citoesqueleto.

Las integrinas son moléculas integrales de la membrana asociadas con el espacio intra y extra celular, este hecho, junto con el que se encuentran presentes en la fibra muscular en asociación a los costameros y la unión miotendinosa, podría indicar que juegan un rol preponderante en la transducción de la fuerza. La estimulación mecánica del músculo activa enzimas específicas (quinasas: tirosina kinasas y posiblemente serina/treonina kinasas), y subsecuentemente activa una cadena de segundos mensajeros que por ahora no es conocida en detalle, este mecanismo ha sido estudiado en los fibroblastos cardiacos y se encuentra actualmente en estudio un mecanismo similar en respuesta a la elongación pasiva del músculo.

2) La secreción selectiva de factores de crecimiento regulada por mecanismos paracrinos y autocrinos.

Los factores de crecimiento son moléculas secretadas por las células y tiene una potente actividad biológica, estos factores por lo general, estimulan la proliferación celular; en el caso específico del músculo, estas moléculas estimularían la división de células satélites de la fibra muscular, la adición de mas sarcomeros seria el resultado de la proliferación de estas células satélites, las cuales se conjugarían con las células preexistentes.

3) Cambios en el flujo intracelular de iones producto de la apertura de canales iónicos que se activan por la elongación de la fibra.

La transmisión de un estímulo mecánico daría lugar a cambios en el flujo iónico, por la apertura de canales mecanosensibles (cambios similares a los que se producen en las células del oído interno). Las características electrofisiológica de estos canales iónicos esta bastante bien documentada, pero su función especifica en el músculo aun permanece en duda.

Todos estos conceptos se encuentran aun en estudio, formando la línea mas reciente de investigación en torno a los efectos a largo plazo de la elongación muscular.

Guissard N. y Duchateau el 2004 investigaron sobre los cambios en las propiedades neuromusculares del músculo con una programación del entrenamiento de la flexibilidad, en este estudio se demuestra claramente y en concordancia con la mayoría de la investigaciones contemporáneas que existen cambios significativos en el ROM posterior a la aplicación de un protocolo de elongación a largo plazo. El estudio concluye que estos cambios fueron debidos a una disminución de la "stiffness" del músculo. Con respecto a la contracción máxima voluntaria (MVC) no se encontraron cambios que permitan determinar la influencia de este protocolo sobre la fuerza máxima.

Algunos de los mas recientes estudios nos muestran que los efectos a largo plazo de la elongación muscular disminuyen la viscosidad y la histéresis del músculo, sin provocar cambios en la *stiffness* a nivel del tendón (Kubo, K., Kanehisha, H., 2001).

Wilson (1994) por su parte, encontró un incremento en la fuerza de contracción concéntrica del músculo no viéndose afectada la contracción excéntrica. En cuanto a pruebas funcionales, en la cual se observan ciclos de alargamiento - acortamiento del músculo (SSC: *Stretch - Shortening Cycle*), como lo son pruebas de salto con contramovimiento y esprints, se observó un aumento de la *compliance* y un incremento en el rendimiento en estas pruebas.

A modo de anécdota, y para aportar mas antecedentes en el área practica de nuestro análisis, tenemos la experiencia de Carl Dietz, entrenador olímpico principal, especializado en el entrenamiento de la fuerza de la Universidad de Minnesota, acerca de un jugador de básquetbol con el que trabajo recientemente y que es relevante para esta discusión (Dietz, C., 2006). El novato alero vino muy bien entrenado y tenía una muy buena "flexibilidad" (era capaz de realizar un abducción de caderas formando un ángulo de 180° entre ambas), resultado del programa intenso y completo de entrenamiento de la flexibilidad que siempre realizaba. Los entrenadores comentaban que este jugador carecía de un "primer paso" y que su explosividad y su destreza para cambiar de dirección no eran tan buenas como lo sugería su puntuación en el *Pro Agility Test*. La participación en un programa intenso para el entrenamiento pliométrico y de la fuerza de tres meses de duración no tuvo efectos. El entrenador Dietz le dio instrucciones al jugador para que discontinuara los intensos entrenamientos de la flexibilidad. Los entrenadores del equipo de básquetbol no sabían de este cambio en la rutina de entrenamiento del jugador y luego de tres o cuatro meses comentaban acerca de la remarcable mejora en su paso y en su explosividad. Su puntuación en el *Pro Agility Test* también mejoró. Obviamente esto es solo un reporte anecdótico y pueden existir múltiples razones para las dramáticas mejoras observadas en el jugador, pero ciertamente es un interesante antecedente acerca de los posibles efectos que provoca un programa de elongación sobre el rendimiento deportivo.

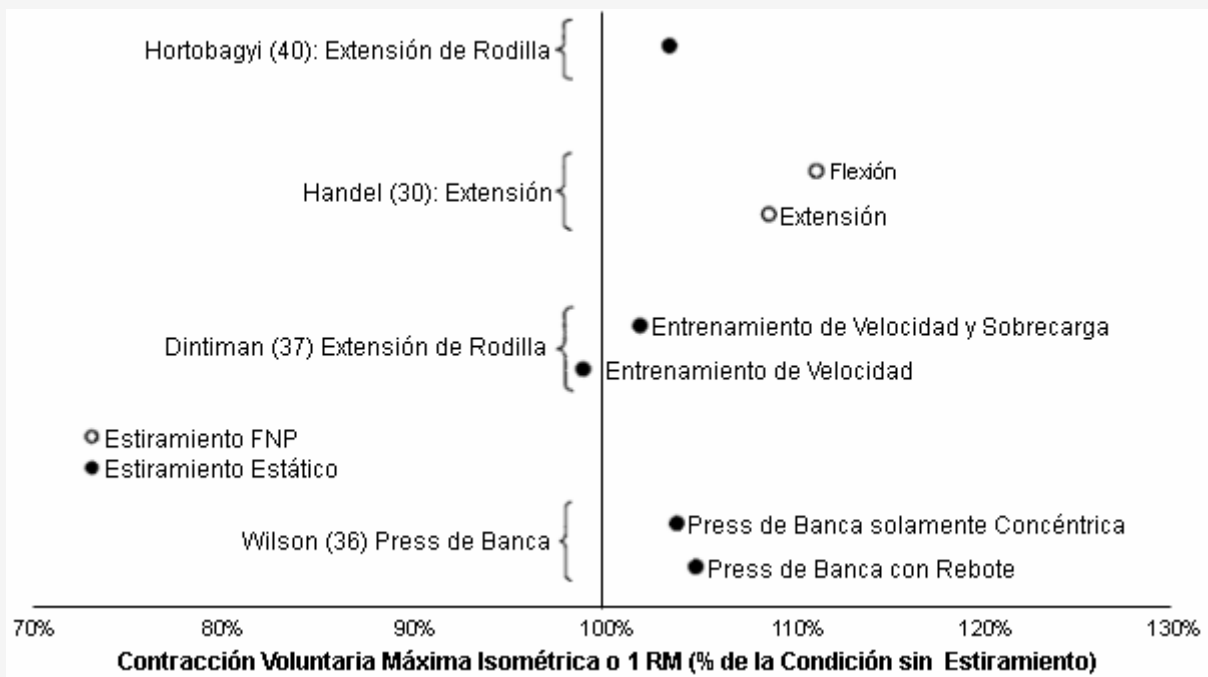


Figura 8. MVC isométrica de la extremidad elongada regularmente expresada como porcentaje de la extremidad no elongada. Los estudios aparecen divididos de acuerdo a la técnica de elongación utilizada (FNP o Pasiva a.). Extraído de Shrier (2004).

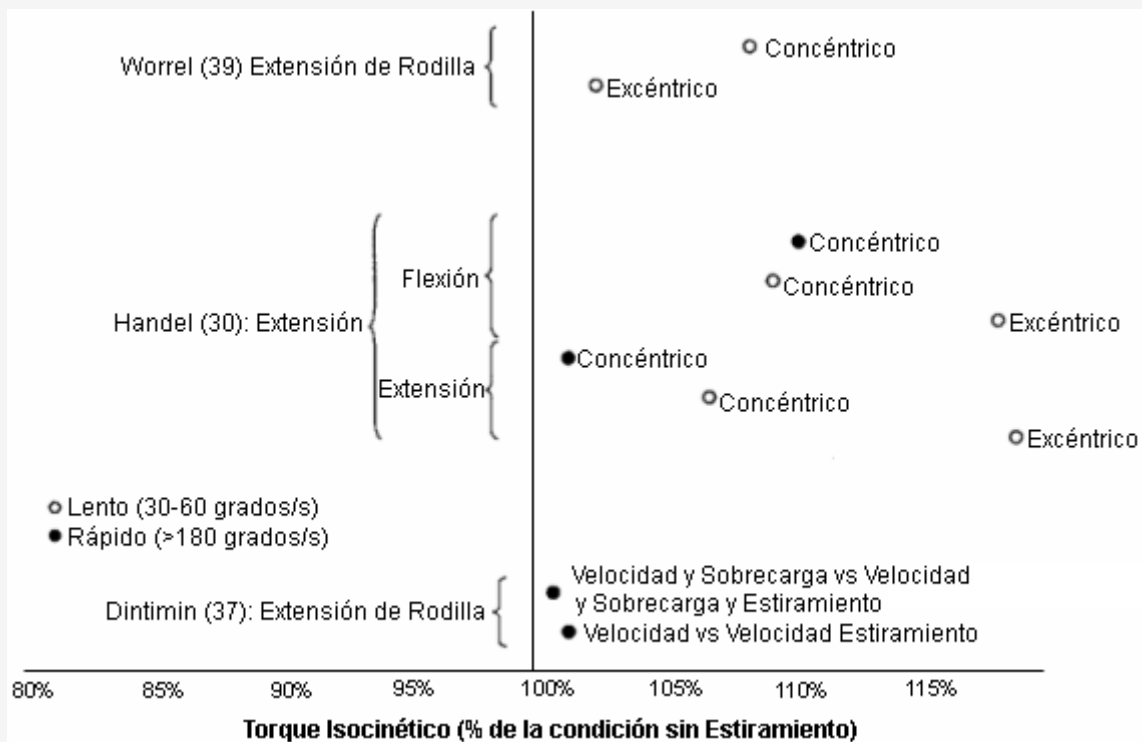


Figura 9. Torque isocinético de la extremidad elongada regularmente expresada como porcentaje de la extremidad no elongada. Los estudios aparecen divididos de acuerdo a la velocidad de la evaluación isocinética. Extraído de Shrier (2004).

EFFECTOS DE LA ELONGACION SOBRE LA PREVENCION DE LESIONES MUSCULO ESQUELETICAS Y EL DOLOR MUSCULAR POST EJERCICIO (DOMS)

Prevención de Lesiones

Un punto muy discutido y a la vez poco estudiado, es el efecto de la elongación muscular a corto, mediano y largo plazo sobre las lesiones musculares. Una práctica casi universal entre los deportistas y las personas que realizan actividad física es el ejercicio pre competitivo, con el fin principalmente de preparar al sistema neuromuscular para la exigencia posterior. Por lo general este tipo de ejercicio pre competitivo consta de:

1. Una actividad aeróbica de relativamente baja intensidad diseñada para aumentar la temperatura del músculo y preparar al sistema cardiovascular. (por ejemplo, un trote suave).
2. Actividades de corta duración pero de una intensidad relativamente alta, con el objetivo de preparar al sistema neuromuscular para la actividad (por ejemplo, carreras cortas a velocidad máxima o submáxima).
3. Elongación muscular, especialmente enfocada en los grupos musculares que tendrán participación en la actividad a realizar.

La pregunta en este caso sería ¿Puede la elongación muscular como parte de una rutina de calentamiento previo al ejercicio disminuir las posibilidades del individuo de sufrir una lesión de tipo muscular?

Un clásico estudio realizado por investigadores del Kapooka Health Centre, la Universidad de Sydney y Charles Sturt University (Rudski, S., 1997), investigo los efectos de un protocolo de elongaciones previas al ejercicio intenso en los miembros inferiores, en un periodo de 11 semanas, en 1568 reclutas de la armada entre los 17 y los 35 años de edad, que se encontraban cursando su periodo de instrucción básica. A pesar de que éstos sujetos no son necesariamente deportistas de elite, si son sometidos a un programa bastante rígido y sistemático de entrenamiento durante su instrucción y además presentan una alta tasa de lesiones músculo esqueléticas de miembros inferiores. Teóricamente, si un protocolo de elongación tuviera algún efecto sobre la incidencia de lesiones, se podría esperar ver algún efecto en este grupo de individuos.

Como parte de la metodología de este estudio los individuos fueron separados en dos grupos: uno con los que fueron sometidos al protocolo de elongación y el segundo grupo los cuales no fueron sometidos a este programa. Los investigadores decidieron ocupar un protocolo de elongación usado por la gran mayoría de atletas en sus actividades precompetitivas: 20 segundos de elongación muscular pasiva asistida para cada grupo muscular del miembro inferior (Gastrocnemio, Soleo, Isquiotibiales, Cuadriceps, Flexores de cadera y Aductores).

Los resultados de este estudio indicaron que no hubo diferencia significativa en la incidencia de lesiones entre los dos grupos en estudio. Varios estudios similares en distintos grupos de individuos concuerdan con estos resultados, de acuerdo a esto cabe preguntarse ¿A través de que mecanismo probable la elongación muscular podría proteger al individuo de una lesión?.

Los principales autores que defienden a la elongación como una herramienta útil para la prevención de lesiones, señalan el hecho de que la elongación muscular provoca una disminución de la "stiffness" o rigidez del músculo, de forma directa, vía cambios en las propiedades viscoelásticas del músculo, e indirectamente, a través de la inhibición refleja de este, disminuyendo la cantidad de puentes cruzados entre actina y miosina. Estos cambios en la rigidez del músculo provocan un aumento en el rango de movimiento de las articulaciones, disminuyendo la tensión a la que se ven sometidos los tejidos, lo cual, es lo que teóricamente podría disminuir el riesgo de lesión. Esta disminución podría ser a nivel local (en el músculo mismo que es elongado); como también a distancia del músculo elongado (disminuye el riesgo de lesión en un músculo o articulación que no fue directamente sometido a elongación).

A pesar de estos argumentos, las nuevas investigaciones han puesto en duda algunos de estos conceptos. En primer lugar la flexibilidad muscular debe diferenciarse del rango de movimiento; existen muchos individuos los cuales tiene un excelente rango de movimiento a pesar de no tener un entrenamiento regular o nulo de la flexibilidad, por otro lado tenemos a las personas que entrenan programada y sistemáticamente esta cualidad física, sin embargo no presentan grandes rangos de movimiento articular. De la misma, forma las tasas de incidencia en lesiones deportivas en personas con diferentes rangos de amplitud de movimiento, tal como lo demuestran algunos estudios que correlacionan la mayor amplitud de movimiento articular con una menor incidencia de lesiones, no se relacionan directa y únicamente con el efecto de la elongación muscular sino que con los cambios y variaciones propias de los tejidos entre individuos, como por ejemplo, la anatomía del músculo, el grado de hipertrofia, la propiocepción etc.

En segundo lugar, y de acuerdo a algunas investigaciones, el efecto de la elongación muscular antes del ejercicio, podría tener efectos distintos que en cualquier otra circunstancia, por ejemplo, posterior a la actividad física o como parte de una sesión de entrenamiento de la flexibilidad, es decir, realizar un estudio que correlacione la incidencia de lesiones musculares con la elongación muscular previa a la ejecución de una rutina de ejercicios, no es cien por ciento concluyente, ya que el efecto de la elongación como parte de un programa a largo plazo de la flexibilidad aun no se ha demostrado.

Dolor Muscular Post-ejercicio

En una creencia común se ha transformado el concepto de que la elongación muscular posterior al ejercicio reduce el dolor muscular denominado como DOMS (DOMS: Delayed Onset Muscle Soreness). El DOMS se define como la sensación de dolor o disconfort a nivel del músculo que se produce dentro de las primeras 24 a 72 horas después de realizada una actividad física y que por lo general se mantiene luego de 3 a 4 días. Las más recientes investigaciones han aclarado la cadena de acontecimientos que llevan a provocar el DOMS. El daño a la ultra estructura del músculo y el tejido conectivo provocada fundamentalmente por el ejercicio excéntrico, conduciría a la destrucción de proteínas del tejido muscular, y como consecuencia un proceso inflamatorio y un aumento de la temperatura local, esto activa los receptores de dolor causando la sensación dolorosa característica de este fenómeno. (Cheung, K., et al. 2003).

Es bueno recordar que el DOMS esta íntimamente ligado a la capacidad del atleta para tolerar cargas excéntricas, por lo tanto una rutina de elongación antes durante o después del entrenamiento no tendría ningún efecto en prevenir y/o aliviar este dolor. (Johansson, P., 1999).

METODOLOGIA DEL ENTRENAMIENTO DE LA FLEXIBILIDAD

Entendiendo a la flexibilidad como una capacidad psicomotora compleja, cuya responsabilidad exclusiva es la reducción de la resistencia que los distintos tejidos ofrecen al incremento de la amplitud de movimiento, se deduce con cierta claridad que es precisamente la naturaleza de la composición histológica de las estructuras limitantes, en cada articulación y para cada movimiento particular de nuestro aparato locomotor, la que determinará su metodología específica de abordaje (Di Santo, M., 2001).

El uso de la elongación muscular en educación física y en la actividad deportiva, como mencionamos anteriormente esta basada fundamentalmente en mitos y creencias mas que en una evidencia y un conocimiento científico claro.

En este apartado analizaremos diversas investigaciones y mostraremos como se puede indicar y aplicar la elongación muscular de acuerdo a los criterios actuales de tiempo de duración, frecuencia, intensidad y tipo de elongación.

Tipo

Los cuatro principales tipos de elongación son: elongación pasiva asistida, elongación activa, elongación balística y la elongación con Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP).

En un tema bastante controversial se ha convertido el determinar cual de estos tipos de elongación es más efectivo en la práctica. Las investigaciones concluyen que la elongación balística es la que presenta un mayor riesgo de provocar una lesión en su ejecución, debido a que genera grandes cargas a nivel de la unidad músculo tendinosa; además no induce a cambios permanentes en el ROM. Por estas razones esta claramente contraindicada en la mayor parte de los casos.

No es fácil determinar la mejor técnica de elongación, ya que cada una presenta sus puntos a favor y en contra de acuerdo a las condiciones en que estas son aplicadas. La elongación activa es bastante efectiva en situaciones en las cuales hay un gran número de individuos sin una supervisión personal de la técnica y en donde la eficiencia en términos de tiempo es prioritaria. La elongación muscular pasiva asistida y con FNP es muy eficiente cuando se cuenta con personal entrenado en la aplicación de estas técnicas y el trabajo es individualizado. Las más recientes investigaciones indican que las técnicas de elongación con FNP son las que provocan un mayor aumento en el ROM (Magnusson, S., et al. 1996; Prentice, W., 1997; Handel, M, et al. 1997; Davis, D., et al. 2005; Hernández, P., et al. 2005). En general el tipo de técnica a utilizar varía fundamentalmente de acuerdo a la situación que se presente, la cantidad de individuos, y la cantidad de personal entrenado en la aplicación de estas técnicas.

Intensidad

La elongación muscular, como cualquier otra forma de entrenamiento presenta potenciales efectos perjudiciales si los estímulos son entregados de una manera incorrecta, principalmente a nivel de la unión musculotendinosa en la cual se

puede observar un debilitamiento estructural agudo posterior a la aplicación incorrecta de técnicas de elongación, es por esta razón que la intensidad de la elongación debe ser prescrita con sumo cuidado.

La aplicación de una elongación muscular debe tener en cuenta factores tales como la velocidad y la fuerza con la cual se aplica tomando en cuenta las propiedades viscoelásticas del músculo. La intensidad de la elongación se determina principalmente a través de la sensación subjetiva del individuo al momento de realizar la acción y como premisa fundamental se debe velar por nunca sobrepasar los límites del dolor, es decir, debe ser una sensación clara y localizable de tensión muscular sin llegar nunca al dolor de ningún tipo. (Hernández, P., et al. 2005). La intensidad apropiada debe alcanzarse de forma lenta y constante, esto debe ser transmitido a los deportistas como elongar “solo hasta el punto de tensión” o “elongar hasta justo antes del límite del dolor o discomfort”.

Tiempo

La extensión de una sesión de elongación va a depender del músculo o grupo muscular a elongar, del objetivo que se busque dentro de la flexibilidad y de variables relacionadas con la técnica en sí. Estas variables son: el momento en el cual se aplica la elongación muscular dentro de una sesión de entrenamiento, el tiempo de mantención de la fuerza tensil y de el número de repeticiones de cada elongación.

En relación a la primera de estas variables, podemos decir que la fase inicial del calentamiento previo no es el momento más indicado para la aplicación de la elongación muscular si el objetivo que se busca es aumentar el ROM, ya que una unidad musculotendinosa (UMT) “fría” es notablemente más “rígida” y susceptible a lesionarse que una UMT en un músculo que ha sido sometido a una actividad previa que aumente la temperatura del músculo (Noonan, T., et al. 1993; Safran, M., et al. 1989; Sapega, A., et al. 1981). El aumento de la temperatura se cree que permite disminuir la cantidad de puentes cruzados glicoproteicos en el colágeno de los tejidos conectivos, lo cual permitiría una elongación permanente de la UMT (Sapega, A., et al. 1981). Por seguridad y eficiencia la elongación muscular se debería llevar a cabo de preferencia durante la fase de vuelta a la calma del entrenamiento.

El tiempo durante el cual la tensión debe ser aplicada es un punto muy controversial y a la vez fundamental para determinar la eficiencia de un protocolo de elongación muscular. En base a la más reciente investigación sobre el tema en animales y humanos se recomienda que la elongación debe ser mantenida entre 15 y 30 segundos (Anderson, B., Burke, E., 1991, Zachazewski, J., et al. 1996; Davis, D., et al. 2005).

Menor cantidad de evidencia científica existe con respecto a la cantidad de repeticiones que deben ejecutarse en una serie de elongaciones, estudios en animales muestran que solo existe un aumento significativo de ROM durante las 4 primeras repeticiones de una serie. El American College of Sports Medicine (ACSM) e investigaciones recientes (Knudson, D., 1995; Bennell, K., et al. 1999; Evetovich, T., et al. 2003; Davis, D., et al. 2005), recomiendan de tres a cinco repeticiones para cada serie de elongación en un músculo o grupo muscular determinado.

Frecuencia

La flexibilidad, al igual que la resistencia cardiovascular se pierde rápidamente sin un entrenamiento sistemático (Wilmore, J., Costill, D., 1998; Bandy, W., et al. 1998). Numerosos estudios realizados en animales y humanos han documentado el comportamiento del sistema neuromuscular frente a la elongación. Magnusson (1998), encontró que hubo una disminución significativa del *stiffness* y la tensión pasiva ejercida por el músculo luego de un protocolo de elongación, sin embargo, estos valores retornaron a su condición basal luego de una hora.

En cuanto al entrenamiento a largo plazo, los avances alcanzados en relación al ROM pueden perderse en parte luego de una semana sin entrenamiento (Tanigawa, M., 1972; Starring, D., et al. 1988; Spornoga, S., et al. 2001), desafortunadamente existen muy pocos estudios en relación a este tema, sin embargo, y en base a la revisión bibliográfica y los estudios más recientes se puede recomendar que la elongación muscular debería realizarse por lo menos tres veces por semana, e idealmente todos los días y/o posterior a toda sesión de entrenamiento físico deportivo.

Tipo Modalidades de elección preferente son las técnicas de elongación pasiva asistida, elongación activa y con FNP

Frecuencia Por lo menos tres veces por semana, idealmente todos los días y/o después de cada entrenamiento.

Intensidad Elongar lentamente el vientre muscular y mantener en la posición utilizando la menor tensión que se requiera para mantener el segmento en el lugar deseado.

Tiempo

4 a 5 series, con mantención entre 15 a 30 segundos para cada grupo muscular.

Tipo	Modalidades de elección preferente son las técnicas de elongación pasiva asistida, elongación activa y con FNP
Frecuencia	Por lo menos tres veces por semana, idealmente todos los días y/o después de cada entrenamiento.
Intensidad	Elongar lentamente el vientre muscular y mantener en la posición utilizando la menor tensión que se requiera para mantener el segmento en el lugar deseado.
Tiempo	4 a 5 series, con mantención entre 15 a 30 segundos para cada grupo muscular.

Tabla 1. Recomendaciones sobre entrenamiento de la flexibilidad basadas en la evidencia científica reciente.

CONCLUSIONES

Como hemos revisado en este manuscrito, la flexibilidad es una cualidad física extremadamente compleja, que involucra múltiples sistemas y formas de trabajo, sin embargo, y a modo de resumen existen ciertos lineamientos bastante claros a la hora de poner en práctica ya sea un programa de entrenamiento o una sesión única de flexibilidad.

Podemos decir que la elongación muscular de alta intensidad, es contraproducente como preparación para la actividad física, ya que disminuye la tasa de producción de fuerza isométrica, concéntrica y excéntrica.

Un programa de entrenamiento sistemático de la flexibilidad nos entrega por otra parte ciertos beneficios, que deben valorarse de acuerdo al tipo de actividad muscular que se realice, ya sea en contracciones musculares puras, pruebas funcionales, actividades aeróbicas o ciclos de estiramiento-acortamiento (SSC). En torno a estos tópicos se requiere muchas más investigación científica que especifique e investigue, los efectos de protocolos de elongación en cada una de estas situaciones.

Referente al riesgo de lesiones, no existe una evidencia científica clara que demuestre que la elongación muscular a corto mediano o largo plazo tenga alguna incidencia sobre la probabilidad de lesionarse. Una investigación más detallada y controlada en torno a este tópico deberá ser conducida sobre todo en deportes de alto impacto y en situaciones acortamiento patológico del músculo, que evidentemente cambian el panorama y podrían de alguna forma verse beneficiadas con un protocolo de elongación muscular.

A modo de consejo práctico, y englobando todos los conceptos revisados en este manuscrito podemos decir con seguridad que, en vez de realizar una serie de elongaciones intensas previas a la competición, la preparación previa para un acto deportivo debería consistir en un calentamiento específico para cada deporte que active los músculos que van a ser requeridos en el acto. En cuanto a los programas de entrenamiento de la flexibilidad a largo plazo, estos deberán ser probados y estudiados más a fondo con el fin de determinar a ciencia cierta cuales son sus efectos precisos en los distintos parámetros del rendimiento físico deportivo.

Una serie de caminos se encuentran abiertos a la investigación rigurosa y científica en esta área, en las cuales en un futuro deberán determinar y objetivar lo que poco a poco en la actualidad se esta empezando a entender y desmitificar.

REFERENCIAS

1. Alter, M (1996). Los estiramientos, bases científicas y desarrollo de ejercicios. 3ª ed. *Barcelona, España, Editorial Paidotribo*
2. American College of Sports Medicine (2000). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 6th ed. *Philadelphia, Lippincott, Williams & Wilkins*

3. Anderson, B., Burke, E (1991). Scientific, medical and practical aspects of stretching. *Clinics in Sports Medicine*, 10 (1): 63-86
4. Astrand, P.O, Rodahl, K (1997). Fisiología del trabajo físico. 3ª ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana
5. Bandy W.D., Irion J.M., Briggler M (1998). The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Phys. Ther.*, 78(3):321-2
6. Belmar, J (2006). Facultad de Ciencias Biológicas y el Departamento de Desarrollo Académico de SECICO. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. Disponible en: http://www.puc.cl/sw_educ/neurociencias/index.html
7. Bennell, K., Tully, E., Harvey, N (1999). Does the toe-touch test predict hamstring injury in Australian Rules footballers?. *Aust J Physiother.* 45(2):103-109
8. Bloomfield, J., Wilson, J (1998). Flexibility in sport. En: Elliott, B., J. Mester (eds.), *Training in sport: Applying sport science*, Chichester: John Wiley & Sons, 239-285
9. Bryant, S (1984). Flexibility and stretching. *The Physician and Sportsmedicine*, 12, (2), 171
10. Cacchi, B., Bosco, C., Baggio, M., Bertoldo, F., Bianchini, A., Mannozi, P (1987). Influencia di diversi tipi di riscaldamento su alcuni test motori effettuati con l ergo-jump. *Un Quinquennio di Ricerca Scientifica. Roma*
11. Chandler, T.J., Kibler, W.B., Uhl, T.L., Wooten, B., Kiser, A., Stone, E (1990). Flexibility comparisons of junior elite tennis players to other athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 18, (2), 134-136
12. Cheung, K., Hume, P.A. Maxwell L (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med.*; 33: 145-164
13. Condon, S.M., Hutton, R.S (1987). Soleus muscle electromyography activity and ankle dorsiflexion range of motion during four stretching procedures. *J. Am Physical Therapy Association*, 67: 24-30
14. Corbin, C.B., Noble, I (1980). Flexibility: A major component of physical fitness. *Journal of Physical Education and Recreation*, 51, (6), 23-24, 57-60
15. Cramer, J., Housh, T., Johnson, G., Miller, J., Coburn, J., Beck, T (2004). Acute effects of static stretching on peak torque in women. *J. Strength Cond. Res.*, 18: 236-241
16. Dadebo, B., White, J., George, K (2004). A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br. J. Sports Med.*, 38 (4):388-394
17. Davis, D.S., Ashby, P. E., McCale, K. L., McQuain, J. A., Wine, J. M (2005). The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameter. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1): 27-32
18. De Deyne, P (2001). Application of Passive Stretch and Its Implications for Muscle Fibers. *Phys Ther Vol. 81, No. 2, 819-827*
19. De Deyne, P.G., Hayatsu, K., Meyer, R (1999). Muscle regeneration and fiber - type transformation during distraction osteogenesis. *J. Orthop Res.*, 17: 28-32
20. De Vries, H.A (1962). Evaluation of static stretching procedures for improvement of flexibility. *Research Quarterly*, 33, (2), 222-229
21. Di Santo, M (2001). Consideraciones acerca de la estructura de algunos tejidos limitantes de la amplitud del movimiento, y sus posibilidades de adaptación en relación al entrenamiento de la Flexibilidad. *PubliCE Standard. Pid: 44*
22. Dietz C. Personal communication (2006). Posibles Implicaciones del Estiramiento Excesivo sobre el Rendimiento Deportivo. *PubliCE Standard. Pid: 726*
23. Evetovich, T., Nauman, N., Conley, D., Todd, J (2003). Effect of static stretching of the biceps brachii on torque, electromyography, and mechanomyography during concentric isokinetic muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17: 484-488
24. Fowles, J.R., Sale, D.G (1996). Neuromuscular responses to maximal passive stretch in humans (Abstract). *Physiologist*, 39: 59
25. Fowles, J.R., Sale, D.G., MacDougall, J.D (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J. Appl. Physiol.*, 89: 1179-1188
26. Gajdosik, R.L (1995). Flexibility or muscle length?. *Phys. Ther.*, 75: 238-239
27. Galley, P.M., Forster, A. L (1987). Human movement: An introductory text for physiotherapy students. *Melbourne: Churchill Living-stone*
28. Gareis, H., Solomonow, M., Baratta, R., Best, R., D'Ambrosia R (1992). The isometric length-force models of nine different skeletal muscles. *J. Biomech.*, 25: 903-16
29. Guisard, N., Duchateau, J., Hainatuk (2000). Muscle stretching and motoneuron excitability. En: Fowles, J.R., Sale, D.G., MacDougall, J.D
30. Guisard, N., Duchateau, J., Hainatuk (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J. Appl. Physiol.*, 89: 1179-1188
31. Guissard, N. Duchateau, J (2004). Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar flexor muscles. *Muscle & Nerve* 29, 248-245
32. Halbertsma, J.P.K., Van Bolhuis, A.L., Goeken LNH (1996). Sport stretching: effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. *Arch Phys Med. Rehabil.*, 77: 688-692
33. Halvorson, G.A (1989). Principles of rehabilitating sports injuries. En: Kibler, C.C. *Scientific foundations of sports medicine (345-371)*, Philadelphia, Decker
34. Hebbelinck, M. Flexibility. En: Dirix, A., Knuttgen, H.G., Tittel, K (1998). *The Olympic book of sports medicine . Oxford: Blackwell (213-217)*
35. Herbert, R.D, Gabriel, M (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ*, 325(7362), 468- 470
36. Hidalgo, E.C (1993). Técnicas de stretching para la kinesiología, la educación física y las artes del movimiento. *Universidad de Chile, Santiago de Chile.*
37. Hill, D.K (1968). Tension due to interaction between the sliding filaments in rested striated muscle. *J. of Physiology.*, 199: 673-84
38. Houk, J.C., Singer, J.J., Goldman MR (1971). Adequate stimulus for tendon organs with observation on mechanics of the ankle joint. *J. Neurophysiol.*, 34: 1051-1065

39. Hutton, S (1992). Neuromuscular basis of stretching exercises. En: Komi, V. *Strength and Power in Sport*. 1ª ed. Oxford, UK: Blackwell Science, 29-38
40. Johansson, P.H., Lindstrom, L., Sundelin, G., Lindstrom, B (1999). The effects of preexercise stretching on muscular soreness, tenderness and force loss following heavy eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*, 9(4):219-25
41. Kent, M (1998). The Oxford dictionary of sports science and medicine (2nd ed.). Oxford, Oxford University Press
42. Kisner, C., Colby, L. A (2002). Therapeutic exercise foundations and techniques (4th ed.). Philadelphia, F. A. Davis
43. Knudson, D.V (1995). A review of stretching research. *Texas AHPERD Journal*, 54(1), 16-18
44. Kovanen, V (2002). Intramuscular Extracellular Matrix: Complex Environment of Muscle Cell. *Exercise and sport Sciences Reviews*, 30 (1): 20-25
45. Kubo, K., Kanehisha, H (2001). Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol.*, 90: 520- 527
46. Magnusson, S.P (1998). Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scand J Med Sci Sports*. 8(2):65-77
47. Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P (1992). Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *Am J. Sports Med.*, 24: 622-628
48. Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P., Dyhre-Poulsen, P., McHugh, M.P., Kjaer, M (1996). Mechanical and physiological responses to stretching with and without presometric contraction in human skeletal muscle. *Arch. Phys. Med. Rehab.* 77: 373-8
49. Mense, S., Meyer, H (2000). Different types of slowly conducting afferent units in the cat skeletal muscle and tendon. En: Fowles, J.R., Sale, D.G., MacDougall, J.D. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J. Appl. Physiol.*, 89: 1179-1188
50. Metheny, E (1952). Body dynamics. New York, McGraw-Hill
51. Noonan, T.J., Best, T. M., Seaber, A. V., Garrett, W. E (1993). Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior. *American Journal of Sports Medicine*, 21, 517-522
52. Prentice W.E (1997). Técnicas de rehabilitación en la medicina deportiva. 1ra Edición. Barcelona España. Editorial Paidotribo
53. Prentice, W.E (1983). A comparison of static stretching and PNF stretching for improving hip joint flexibility. *Athletic Training*, 18(1), 56-59
54. Rudski, S. J (1997). Injuries in Australian Army Recruits, Part III: The Accuracy of a Pretraining Orthopedic Screen in Predicting Ultimate Injury Outcome. *Military Medicine*, Vol. 162, 481-483
55. Russell, T., Bandy, W.D (2004). Eccentric Training and Static Stretching Improve Hamstring Flexibility of High School Males. *Journal of Athletic Training*: 39(3):254-258
56. Saal, J.S (1998). Flexibility training. En: Kibler, E.B, Herring, S.A, Press J.M.(eds.), Functional rehabilitation of sports and musculoskeletal injuries , Gaithersburg, Md. Aspen (85-97)
57. Safran, M.R., Seaber, A. V., Garrett, W. E (1989). Warm-up and muscular injury prevention: An update. *Sports Medicine*, 8, 239-249
58. Sapega, A.A., Quedenfeld, T.C., Moyer, R.A., Butler, R.A (1981). Bio-physical factors in range-of-motion exercise. *Physician and Sportsmedicine*, 12(9), 57-65
59. Shrier, I (2002). Does stretching help prevent injuries?. *Evidence-based Sports Medicine*, 9: 43-47
60. Shrier, I (2004). Does Stretching Improve Performance? A Systematic and Critical Review of the Literature. *J. Sport Med.*, 14 (5): 21-26
61. Shrier, I (1999). Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 9: 221-227
62. Spernoga, S.G, Uhl, T, Arnold, B.L Gansneder, B (2001). Duration of Maintained Hamstring Flexibility after a One-Time, Modified Hold-Relax Stretching Protocol. *J Athl Train*. 36(1): 44-48
63. Starring, D. T., Gossman, M. R., Nicholson, G. G., & Lemons, J (1988). Comparison of cyclic and sustained passive stretching using a mechanical device to increase resting length of hamstring muscles. *Physical Therapy*, 68, 314-320
64. Street, S.F (1983). Lateral transmission of tension in frog miofibers: a miofibrillar network and transverse cytoskeleton connections are possible transmitters. *J. Cell Physiol.*, 114: 346-364
65. Tanigawa, M. C (1972). Comparison of the hold-relax procedure and passive mobilization on increasing muscle length. *Physical Therapy*, 52, 725-735
66. Taylor, D.C., Brooks, D.E., Ryan, J.B (1997). Viscoelastic characteristics of muscle: passive stretching versus muscular contractions. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29: 1619-1624
67. Thacker, S.B., Gilchrist, J., Stroup, D.F., Kimsey, C.D (2004). The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc.*; 36(3):371-8
68. Vesz, A., Mota, B (2004). Estudo das técnicas de alongamento estático e por facilitação Neuromuscular Propioceptiva no desenvolvimento da flexibilidade em jogadores de futsal. *Universidade Federal de Santa Maria RS*
69. Viel, E (1989). El método Kabat. 1ª ed. Barcelona, España: Editorial Masson, 154 - 155
70. Voss, D. E., Ionta, M.K., Myers, B (1998). Facilitación Neuromuscular Propioceptiva, patrones y técnicas. 3ª ed. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana, Capítulo 2: 412-416
71. Wang, K., Mc carter, R., Wright, J (1993). Viscoelasticity of the sarcomere matrix of skeletal muscle: the titin-myosin composite filament is a dual stage molecular spring. *Biophys J.*, 64: 1161-1177
72. Wiemann, K., Klee, A (1992). Muskeldehnung zur Leistungsverbesserung im Sprint. Unveröffentlichter Forschungsbericht. *Bundesinstitut für Sportwissenschaft*, 5: 80-84
73. Wilmore, J.H., Costill, D.L (1998). Fisiología del Esfuerzo y del Deporte. 2ª ed. Barcelona, España; Editorial Paidotribo, 26-65
74. Wilson, G. J., Murphy, A. J., Pryor, J. F (1994). Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *Journal of Applied Physiology*, Vol 76, Issue 6 2714-2719

75. Worrel, T.W., Smith, T.L., Winegardner, J (1999). Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 20 (3): 154-9
76. Zachazewski, J.E., Magee, D.J., William S. C (1996). Athletic Injuries and Rehabilitation. *Editorial W. B. Saunders Company*
77. Zito, M, Driver, D, Parker, C, Bohannon, R (1997). Lasting effects of one bout of two 15-Second passive stretches on ankle dorsiflexion range of motion. *JOSPT*; 26 (4): 214-221