PubliCE, (PubliCE) 1997

Monograph

Bases Neurofisiológicas de la Flexibilidad (Parte 2)

Lic. Mario Di Santo[1]

[1]*Instituto del Profesorado en Educación Física. Córdoba, Argentina.*

Palabras Clave: sistema nervioso central, dendrita, neurona, axón, flexibilización, reflejos

DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS REFLEJOS, EN RELACIÓN CON LA FLEXIBILIDAD Y SUS POSIBILIDADES DE ESTIMULACIÓN

Resulta harto difícil determinar, de la totalidad de reflejos estudiados por los neurofisiólogos, cuáles de ellos son relevantes para la obtención de algún rédito técnico - metodológico en relación a la flexibilidad y cuáles de ellos podrían considerarse como poco significativos. Debido precisamente a la propiedad de inervación recíproca, cualquier reflejo, sea excitatorio o inhibitorio, puede ser aprovechado efectivamente para el logro de una mayor relajación del músculo a estirarse. Así, por ejemplo, un mismo reflejo excitatorio, aplicado sobre el grupo muscular antagonista al que será sometido a la acción de estiramiento puede promover sobre éste, un elevado índice de inhibición. Inversamente, el desencadenamiento de un reflejo inhibitorio sobre el grupo muscular antagonista puede generar, sobre el músculo a estirarse, un incremento de la actividad contráctil restringiendo temporariamente sus posibilidades de deformación longitudinal. No obstante, antes de ingresar dentro del marco de tales consideraciones conviene analizar dos de los reflejos que, tradicionalmente, mayor relación han tenido con la problemática técnico-metodológica del entrenamiento de la flexibilidad: el reflejo miotático de tracción y el reflejo de inhibición autógena de Órgano Tendinoso de Golghi.

El Reflejo Miotático de Tracción

El receptor de reflejo miotático es fusiforme y se lo conoce con el nombre de huso neuromuscular. Se encuentra preferentemente en la zona central o ecuatorial del músculo y dispuesto en forma paralela al resto de las fibras musculares estriadas o extrafusales. El huso muscular toma inserción en el sarcolema de las fibras musculares o en el tendón sufriendo, de esta manera, exactamente los mismos procesos de deformación que los componentes elásticos paralelos del tejido padecen. Su tamaño es de alrededor de 10 mm, es decir, lo suficientemente espacioso como para contener entre 3 y 12 fibras musculares que precisamente, por estar en el interior del huso, se denominan intrafusales.

Cada fibra intrafusal es una fibra muscular esquelética muy pequeña envuelta parcialmente por una cápsula de tejido conectivo la cal, en la zona ecuatorial o central de la fibra, se ensancha. Este espacio central de la fibra intrafusal tiene pocos o ningún filamento de actina o miosina y está, por el contrario, ocupado por una sustancia lubricante parecida al humor vítreo (Houssay. 1989, pag. 162). La porción ecuatorial del huso alberga una gran cantidad de núcleos careciendo, al mismo tiempo, de propiedades contráctiles. En lugar de ello, trabaja como el receptor sensitivo del estiramiento muscular.

Las porciones polares o terminales del huso, a diferencia de la central, pueden contraerse en virtud de la excitación provocada por la innervación de las pequeñas fibras eferentes o neuromotoras gamma, denominadas de esta manera en contraposición a las grandes motoneuronas alfa que inervan a las fibras esqueléticas extrafusales. Las motoneuronas gamma, al provocar la contracción de las porciones finales de la fibra intrafusal, pueden también generar cierto grado de

deformación de la porción central convirtiéndose, de esta manera, en estímulo efectivo para el desencadenamiento del reflejo miotático de tracción.

Envolviendo en forma espiralada a la porción central de la fibra intrafusal se encuentra el origen de la vía sensitiva que informa al sistema nervioso central sobre el grado de estiramiento sufrido por la fibra intrafusal. Esta, en cuestión, puede deformarse longitudinalmente en virtud de dos mecanismos: a) por la elongación de todo el músculo, y b) por la contracción de las porciones polares de las fibras intrafusales, generada a partir del incremento de la corriente excitatoria eferente gamma.

Sobre la base de estudios mecánicos e histoquímicos se han descrito tres tipos de fibras intrafusales responsables del desencadenamiento de dos tipos de reflejos de tracción. Ellas son las fibras de bolsa nuclear dinámicas, las fibras de bolsa nuclear estáticas (más gruesas y largas que las dinámicas) y las fibras de "cadena nuclear" que a diferencia de las dos primeras, la disposición de los núcleos en la porción central, lejos de ser "abultada", es en fila y, por ello, la dilatación ecuatorial resulta prácticamente imperceptible. Cada huso neuromuscular tiene un número variable de fibras intrafusales. Sin embargo, suelen predominar las fibras de cadena nuclear.

Dos tipos de terminaciones sensoriales suelen inervar a las fibras intrafusales en su área receptora, es decir, la central: las fibras Ia. y las fibras II. Las fibras Ia. También denominadas terminal primario o terminación anuloespiral, inervan a las porciones centrales de las fibras de bolsa nuclear dinámicas. Son mielinizadas, de un diámetro promedio de 17 micras, de alta velocidad de conducción (70 - 120 m por segundo) y transmiten información relativa a la velocidad de cambio en la longitud del músculo.

Según Guyton (1989, pág, 239) cuando la longitud de un receptor intrafusal aumenta solo una fracción de micrón, de producirse este incremento en una fracción de segundo, el receptor primario transmite un enorme número de impulsos adicionales hacia la fibra Ia, pero únicamente mientras la longitud está realmente creciendo. Tan pronto como la longitud ha dejado de aumentar, la frecuencia de descarga de impulsos aferentes vuelve a su nivel original. Por su parte las fibras II, denominadas usualmente como terminaciones secundarias (o a veces terminación en ramillete o rosetón), inervan tanto a las fibras de bolsa nuclear estáticas como a las fibras de cadena nuclear. Son más pequeñas, con un diámetro promedio de 8 mieras y velocidad de conducción del impulso nervioso más lenta que las fibras Ia (60-30 m. Por segundo). A pesar de que también inervan a las fibras de bolsa nuclear dinámicas, solamente informan al sistema nervioso central acerca de los cambios de longitud de movimiento pero no sobre la velocidad en que dicho cambio ocurre.

El estiramiento de la porción ecuatorial de la fibra muscular intrafusal, generado ya sea por la extensión mecánica de todo el músculo o por la contracción de las porciones polares de la fibra a partir de la descarga gamma, deforma al terminal primario y al secundario. La consecuencia de esta deformación es la despolarización de los mismos dando lugar a un potencial generador de (Houssay, 1989, pág. 163). Al respecto se ha postulado que el estiramiento genera la apertura de los canales de calcio. (Ca ++) produciendo una rápida despolarización de la vía sensitiva. A esta primera fase se la denomina dinámica y la frecuencia de descarga generada es proporcional a la velocidad en que se produce el estiramiento muscular.

Así, una fuerte y veloz extensión origina, a partir de la estimulación de las terminaciones primarias, una salva de descargas de alta frecuencia en la fibra la que recibe el nombre de respuesta primaria o dinámica. A la siguiente fase se la suele denominar como estática y, aunque a menor velocidad y frecuencia informa al sistema nervioso central acerca del grado de estiramiento producido durante todo el tiempo en que éste se verifique. Este dato es generado tanto desde las fibras de cadena nuclear como desde los de bolsa de nuclear estática y las dinámicas inclusive aunque, según se cree, mayormente de las dos primeras.

La contracción de las porciones polares de las fibras intrafusales también genera la deformación de las porciones centrales. Al respecto, las motoneuronas gamma, alojadas en las astas anteriores de la médula espinal, de axón mielinizado pero relativamente baja velocidad de conducción, inervan los extremos contráctiles de las fibras intrafusales. Funcionalmente se han distinguido dos tipos de motoneuronas gamma: en primer lugar, las gammas dinámicas, que inervan a las fibras de bolsa nuclear dinámicas; y, en segundo lugar, las gammas estáticas que se conectan con las fibras de bolsa nuclear estáticas y las fibras de cadena nuclear. Esta inervación, según Houssay (1989, pág. 164) puede ser por axones separados para cada clase de fibra o por axones comunes. Sea como fuere, sólo a partir de una sumatoria temporal de impulsos motores (aún en el caso de los dinámicos) pueden producirse la contracción de las porciones polares de las fibras intrafusales.

Por su parte, la contracción de los extremos genera el estiramiento de la zona central de la fibra intrafusal, despolarizandose las terminales secundarias y primarias dando lugar a la aparición de un potencial generador de receptor y a la producción de potenciales de acción que, a través de las ramas sensitivas se dirigen a la médula espinal. Ahora bien, dicha contracción de las porciones polares no solamente deforma a las porciones centrales sin que necesariamente existe un estiramiento sino que, y he aquí el inconveniente cuando de flexibilidad se trata, aumenta la sensibilidad de los usos

neuromusculares. Por su parte, las motoneuronas gamma dinámicas aumenta a sensibilidad de las fibras de bolsa nuclear dinámicas a la velocidad de los cambios de longitud y, por otro lado, las motoneuronas gamma estáticas hacen lo mismo con las fibras de bolsa nuclear estáticas y las fibras de cadena nuclear respecto a la magnitud y duración de los cambios de longitud. Todo lo cual indica que, en sus dos vertientes, el incremento de la actividad gamma, tanto dinámica como estática, atenta contra la buena ejecución de los ejercicios de flexibilidad potenciando y facilitando las respuestas contráctiles generadas a partir del reflejo miotático de tracción. En este sentido, una cuestión clave consiste en descifrar que tipo de estímulos o situaciones incrementan o disminuyen la eferencia gamma a los efectos de, durante el entrenamiento de la flexibilidad, evitar los primeros y promover los segundos.

El sistema eferente gamma es excitado primariamente por la región bulbopontorreticular facilitadora del tronco encefálico cuyas aferencias de mayor importancia y acción moduladora provienen del cerebelo, de los ganglios de la base de la corteza cerebral. En particular, toman relieve las aferencias que, provenientes del lóbulo límbico, actúan sobre la formación reticular incrementando o reduciendo el caudal eferente gamma. De esta manera quizá se facilite la comprensión de por que ciertos estados emotivos y anímicos repercuten directamente sobre la respuesta al estiramiento y las posibilidades de entrenamiento de la flexibilidad en un momento determinado.

Luego de haber establecido las características generales y las formas de estimulación, se hará referencia a la manera en que la función del huso neuromuscular se manifiesta, a saber: al reflejo miotático de tracción. Dicho de otro modo: siempre que la porción ecuatorial de una fibra intrafusal es deformada por estiramiento, se produce una excitación cuyo corolario es la contracción refleja de las fibras extrafusales de ese mismo músculo. Al ingresar por las astas posteriores de la médula espinal, tanto las fibras sensitivas Ia y II hacen sinapsis directamente con las grandes motoneuronas alfa que, egresando por las astas anteriores de la médula espinal, se dirigen hacia las fibras musculares provocando su contracción. Así, al excitarse el huso neuromuscular se genera un potencial de acción cuyo contenido (duración y frecuencia de ráfagas por unidad de tiempo) viaja por la neurona sensitiva hasta la médula espinal donde, sin intermediación alguna, despolariza a las motoneuronas alfa generando un potencial de acción que concluye con la contracción de las fibras extrafusales. Se trata, entonces, de un reflejo monosináptico y bineuronal cuyas manifestaciones son dos: una respuesta dinámica y otra estática. El reflejo miotático dinámico es desencadenado a partir de la estimulación de las fibras intrafusales de bolsa nuclear dinámicas transmitida por las terminaciones primarias. Provoca una contracción refleja instantánea y fuerte como respuesta inmediata al cambio de longitud del músculo. Dicha respuesta es tanto más potente cuanto más brusco y rápido sea el cambio de longitud. Por otro lado, la estimulación de la fibras intrafusales de bolsa nuclear estática y de cadena nuclear genera una señal aferente cuya expresión es el reflejo miotático de tracción estático, más débil que el primero pero que continua durante un tiempo más prolongado.

Muy a pesar de que el reflejo miotático de tracción atenta contra el incremento de la amplitud de recorrido angular articular, el mismo cumple una serie de funciones de extrema importancia tales como contribuir al soporte de pesos (reflejo de carga), evitar algunos tipos de oscilación y sacudidas de los movimientos corporales (Guyton, 1989, pág. 241) actuando a la manera de mecanismo de amortiguación para suavizar la contracción muscular o, por el contrario, colaborando efectivamente en la expresión de la fuerza máxima y explosiva.

Antes de pasar al análisis del reflejo de inhibición autógena, se hará una breve mención de un tercer tipo de motoneuronas, descriptas por Y. Laporte (citado por Houssay, 1989, pág. 167), denominadas beta o esqueleto-fusimotoras. Ellas inervan tanto a los husos como a las fibras extrafusales y las hay de dos tipos: las dinámicas (que inervan simultáneamente a las fibras intrafusales de bolsa nuclear dinámicas y a las extrafusales de contracción lenta o slow-twitch - ST-) y las estáticas (que inervan a las fibras intrafusales de cadena nuclear y a las fibras extrafusales de contracción rápida o fast-twitch - FT -). Las motoneuronas beta reciben inervación monosináptica des las aferencias Ia y II. Según Houssay (1989, pág. 167) "su función es la de evitar que el uso sea puesto fuera de función por la contracción muscular, sobre todo en aquellos casos donde no hay coactivación alfa - gamma, como ocurre en los movimientos rápidos o balísticos". La gran tentación a partir de estos datos es la de establecer interferencias respecto a la proporción de fibras de contracción rápida y de contracción lenta que posee una persona y las posibilidades de entrenabilidad de la flexibilidad para cada caso. ¿ES la misma la respuesta contráctil al estiramiento? Visto desde la perspectiva opuesta, ¿puede la estimulación de los reflejos miotáticos de tracción, trátese del dinámico o del estático, mejorar selectivamente la excitabilidad de los FT o de los ST en función de la velocidad y duración de la ejecución del estiramiento que actúa como desencadenante de la respuesta contráctil? ¿Qué tipo de estiramiento "entre series" podría favorecer mayormente la expresión de tal o cual tipo de fuerza? Quizás se trate de una suerte de conjeturas apresuradas e infundadas. Sea como fuere, el anhelo del autor de esta obra es que la práctica, el ámbito técnico y metodológico sean consecuencia, efecto, corolario, de un proceso cuyo comienzo está sellado por el estudio técnico en primera instancia, las conjeturas en torno a las posibilidades de relación entre variables en segundo lugar y la investigación de campo en un tercer nivel precediendo, todo ellos, a la práctica en sí pero admitiendo, bajo todo punto de vista, el crecimiento y reformulación del proceso en virtud de un mecanismo de retroalimentación permanente que enriquece a las etapas iniciales conforme posteriores van acaeciendo.

Reflejo Negativo de Estiramiento

Cuando un músculo es acortado bruscamente, se producen efectos exactamente inversos (Guyton, 1989, pág. 240). Cualquier disminución repentina de la longitud muscular provocará la inhibición refleja del mismo, tanto dinámica como estática. Muy posiblemente el lector se pregunte el motivo de esta consideración y, quizás también, si pueden extraerse alguna sugerencia práctica de la misma. Precisamente la causa de su incorporación es que puede, desde el punto de vista técnico metodológico, recomendar lo siguiente: al trabajar las técnicas asistidas dinámicas (ver capítulo de "Técnicas...") se debería acentuar la precaución de incrementar la amplitud de movimiento en forma regular, lenta y sin aceleración alguna pero se podría, al retroceder antes de cada nueva insistencia, hacerlo en forma rápida. Ello promoverá la activación del reflejo miotático negativo, tendiendo a generar cierto grado de inhibición antes de reiniciar una nueva insistencia para el logro de una mayor amplitud de articular.

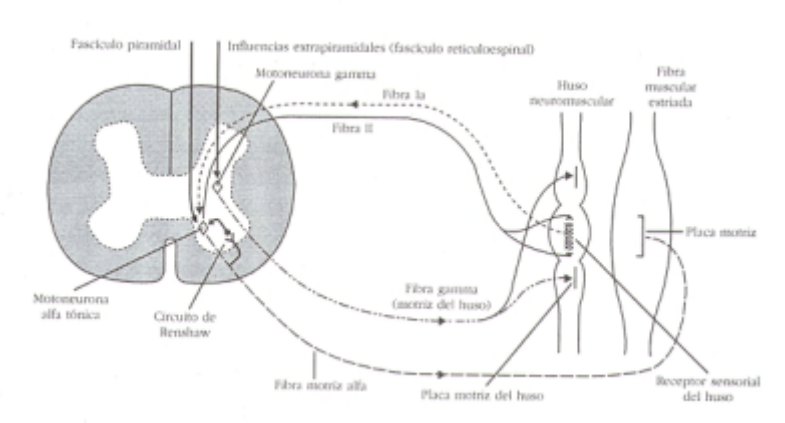


Figura 3. *Esquema del Circuito Gamma (Tomado de LEBOULCH P. 130*

Reflejo de Inhibición Autógena

El Órgano Tendinoso de Golghi se trata de un receptor localizad a nivel de la unión músculo-tendinosa, en serie con las fibras musculares. Está constituido por fibras colágenas agrupadas en fascículos, rodeadas por una cápsula. Entre las fibras colágenas se distribuye asimétrica e irregularmente el terminal nervioso no mielinizado b. Aproximadamente de 10 a 15 fibras musculares están conectadas en serie con cada órgano tendinoso de Golghi, el cual es estimulado por la tensión muscular. Precisamente, la función de este receptor es la de sensar la actividad de las fibras musculares en cuanto a su magnitud y velocidad de contracción.

Según Houssay (1989, pág. 148) el mecanismo de transducción se inicia por la deformación del terminal nervioso Ib, debido al estiramiento de las fibras colágenas como consecuencia de la contracción del músculo. Las señales generadas son transmitidas a través de fibras nerviosas tipo Ib, de con función rápida, con un diámetro promedio de 16 micras (sólo un poco más pequeñas que las fibras sensitivas del terminal primario del huso neuromuscular), hacia la médula espinal. Así, luego de ingresar por sus astas posteriores, en lugar de establecer contacto sináptico con las motoneuronas alfa que inervan el mismo músculo, que se conectan con interneuronas de naturaleza inhibitoria que al ser estimuladas, lejos de despolarizar, hiperpolarizan a las motoneuronas alfa generando (al contrario que el reflejo miotático de tracción) la relación muscular. Se trata, entonces, de un reflejo bisináptico y trineuronal de efecto inhibitorio sobre el músculo del cual el tendón forma parte de efecto excitatorio sobre el músculo antagonista.

Sin embargo, no es la contracción muscular el único estímulo eficiente para desencadenar este reflejo que, tanto en su manifestación dinámica (respuesta de magnitud proporcional a la intensidad del estímulo) como en la estática (respuesta de magnitud proporcional a la duración del estímulo) promueve el establecimiento de condiciones óptimas para la deformación longitudinal del músculo y, con ello, la estación de adaptaciones relevantes a nivel del tejido conectivo. En este sentido, resultaría muy conveniente el detenerse en el análisis de aquellas formas de estimulación de los G.T.O. que podrían ser las más efectivas para potenciar sus propiedades inhibitorias sobre el músculo a ser estirado.

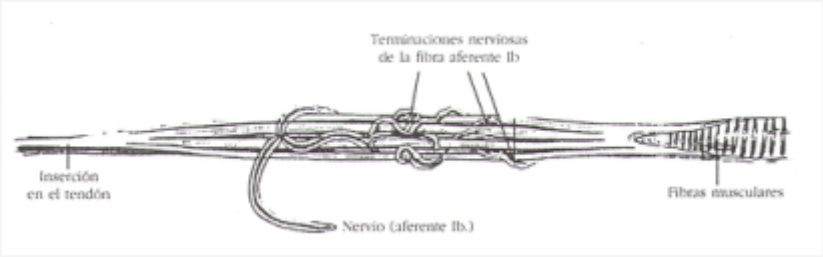


Figura 4. *Esquema de un órgano tendinoso de Golgi. Al ser traccionado por la contracción de las fibras musculares que toman inserción en él, las terminaciones de la fibra Ib, que lo inerva, son estiradas, lo cual produce su despolarización con la consiguiente generación de un potencial de acción. (Adaptado de GRIDGMAN. C. F., 1965, tomado de HOUSSAY, 1989. P. 168)*

La primera alternativa metodológica para desencadenar este reflejo inhibitorio es el mismo **estiramiento muscular.** Si bien los G.T.O. informan sobre los cambios de tensión y la velocidad con la cual ella varía durante la actividad muscular, la tensión del tejido conectivo del vientre muscular provocada por el estiramiento es 'transmitida' a los tendones deformando a las fibras de colágeno del Órgano Tendinoso de Golghi. Sin embargo, para que el estímulo del estiramiento muscular sea significativo en cuanto a magnitud de inhibición producida, se recomienda esperar un lapso de tiempo no menor a los 8 segundos para que, disminuida (por adaptación y fatiga) la respuesta tónica del reflejo miotático de tracción estático, la respuesta inhibitoria pueda lograr predominio a nivel de las motoneuronas alfa y, consecuentemente, el músculo se relaje y se puedan lograr mayores amplitudes de movimiento.

Otra posibilidad técnica para estimular a los G.TO. son las **contracciones isométricas.** Sin embargo , no todas sus modalidades pueden resultar igualmente efectivas. La recomendación expresa del autor es la de utilizar contracciones isométricas tenues o submaximales de 10 segundos de duración localizadas aproximadamente a la mitad del recorrido articular total. Los argumentos son los siguientes:

- Una contracción isométrica máxima, si bien puede generar mayor índice de inhibición, eleva simultáneamente el grado de actividad mioeléctrica facilitando los mecanismos de acortamiento y dificultando considerablemente las posibilidades de relajación del músculo en cuestión.
- La ubicación de la contracción isométrica debería ser aquella en la cual se verificará un óptimo índice de formación de puentes cruzados de actina y miosina. Como alternativa parecida, en cuanto a su efectividad se refiere, se proponen las contracciones isométricas al inicio del recorrido articular por resultar altamente estimulantes sobre el tendón por afectar, precisamente, las fibras musculares de inserción directa sobre los G.T.O.. No se sugieren con la misma confianza las contracciones isométricas localizadas al final del recorrido articular puesto que, en esa posición, no solo que resulta mas difícil la expresión de la fuerza sino que, además, muy escaso nivel de tensión genera sobre el tejido conectivo.

Otro recurso viable para la estimulación de los G.T.O. y el desencadenamiento del reflejo de inhibición autógena lo constituyen las **contracciones auxotónicas excéntricas** del mismo músculo (Barbany, Cairó, 1986, pág. 265). El trabajo excéntrico generaría un doble efecto inhibitorio: por un lado, al elevar el nivel de tensión soportado por el tejido conectivo paralelo, dicha tensión se transmitiría al tendón convirtiéndose, así, en estímulo adecuado; y, por otro lado, el progresivo estiramiento que supone el ejecutar un trabajo excéntrico produciría un efecto de adaptación (y fatiga) progresiva de los husos musculares disminuyendo sus posibilidades de excitación durante la fase de estiramiento posterior. Por el contrario, no se recomiendan, como recurso excitatorio de los G.T.O., las contracciones auxotónicas concéntricas debido al escaso margen de tensión que las mismas generan a nivel del tejido conectivo.

Continuando la descripción de las posibilidades metodológicas para el desencadenamiento del reflejo miotático inverso, aparece la **manipulación o masaje tendinoso.** La fuerte presión sobre los tendones deforma en forma directa (mecánica) al terminal Ib pero, a diferencia de los recueros anteriores, sin elevar ni en lo mas mínimo o, mejor dicho, escasamente, la actividad mioeléctrica. Tanto como para esta alternativa, como para la del trabajo excéntrico, el auto recomienda un lapso de tiempo de estimulación de aproximadamente 10 segundos de duración.

Otro recurso factible de ser empleado con el mismo propósito es el **estiramiento lateral-transversal** del vientre muscular en lo posible, en las zonas próximas a la transición tendinosa (pero no sobre el tendón). Esta tracción de 90° de dirección en relación a la disposición de los husos musculares no ejerce efecto excitatorio sobre los mismos pero si sobre el tendón, deformando a las fibras de colágeno de los G.T.O. y a las terminales Ib. Inclusive al no percutir mecánicamente en forma directa sobre el tendón, no hay fibra muscular alguna que se estire. Es decir, el masaje tendinoso, al presionar sobre el tendón, no deja de estirar a una pequeña cantidad de fibras y, con ello, excitar, aunque en escaso margen, a los husos

neuromusculares con la consecuente descarga contráctil. Debido a ello se podría suponer que la tracción lateral generaría mayor índice de relajación que el mensaje tendinoso y que éste, a su vez, mayor inhibición que la contracción isométrica tenue-submáxima de 10 segundos. En este sentido, la investigación realizada por el autor (cuyos resultados se presentan en el siguiente capítulo). Permite arrojar cierta luz sobre estos supuestos que, aun a pesar de la confirmación empírica, no abandonan la categoría de tales.

Finalmente, cabe la posibilidad de **combinar estas alternativas entre si** y, justamente en ello se cifran algunas propuestas del autor presentadas en el capítulo dedicado a Técnicas de Entrenamiento de la Flexibilidad.

Reflejo de inhibición Recíproca del Antagonista

En virtud de del desencadenamiento de este reflejo, conforme se produce la excitación de un determinado grupo muscular, se verifica la inhibición del grupo antagonista. Así, por ejemplo, cuando se excita un músculo debido a la aparición del reflejo de estiramiento, se inhiben los antagonistas. Según Guyton (1989, pág. 247) éste es el fenómeno de inhibición recíproca, y el mecanismo neuronal que causa esta relación es la inervación recíproca (por ejemplo, un reflejo inhibitorio provoca, precisamente debido al mecanismo de la inervación recíproca, la excitación del grupo muscular antagonista no pudiéndose hablar, en este caso, lógicamente, de inhibición recíproca). Ahora bien, una vez explicitada la diferencia entre inhibición recíproca e inervación recíproca, cabe recordar que este reflejo, no sólo se desencadena debido a la aparición de un reflejo excitatorio en el músculo opuesto. En este sentido, la misma emisión de impulsos eferentes voluntarios hacia un grupo muscular determinado general la inhibición del grupo muscular antagonista. Dicho de otra manera, al ordenarle a un músculo que se contraiga, su antagonista se relaja. Dicha relajación puede obedecer a una doble causalidad: por un lado, a nivel medular, la excitación de motoneuronas alfa que reciben su aferencia no desde la perisferia sino desde el córtex motor genera, por conmutaciones a nivel de las astas anteriores, la inhibición de las motoneuronas alfa que inervan al grupo antagonista: y, por otro lado ya desde la misma corteza cerebral y descendiendo a través de la vía córtico-espiral, el mismo mensaje neutral "contiene" no solamente los datos destinados a regular la inhibición del grupo muscular antagonista.

Sea simple o doble el mecanismo, lo cierto es que la contracción de músculo antagonista al cual se pretende estirar resulta un excelente recurso técnico-metodológico para promover un mayor índice de relajación y favorecer, así, la deformación longitudinal del tejido conectivo con un mayor alcance de amplitud. En este sentido, cualquier tipo de contracción muscular del grupo muscular antagonista puede contribuir efectivamente a la inhibición del músculo a elongar. No obstante, ciertas consideraciones relativas a la duración de la contracción isométrica, deben ser tenidas en cuenta. Como ya se argumentó anteriormente, se sugiere que las mismas no excedan los 4 segundos de duración puesto que, de prolongarse, el mismo músculo contraido se inhibiría por desencandenamiento del reflejo de inhibición autógena provocando, por mecanismo de inervación recíproca, la excitación del mismo músculo que se pretende estirar.

Tal como más adelante se tratará, interesantes combinaciones y posibilidades de empleo de este reflejo pueden aprovecharse no solamente para el desarrollo exclusivo de la flexibilidad, sino también para el entrenamiento de otras capacidades motoras en asociación con la misma.

Reflejo Extensor Cruzado

Se lo puede explicar muy simplemente de la siguiente manera: cuando se produce la contracción de un determinado músculo, se inhibe no solamente su antagonista, sino también el grupo muscular agonista

Contralateral (al tiempo que se excita su antagonista contralateral). Así, por ejemplo, cuando se contrae voluntariamente el grupo muscular flexor de la rodilla (isquiotibiales) se relaja el cuádriceps de mismo miembro y se excita el del miembro contrario pero, y he aquí lo interesante, se inhiben los flexores de la rodilla de la pierna contralateral. De esta manera, la contracción voluntaria de los isquiotibiales del muslo izquierdo puede contribuir a la relajación de los isquiotibiales del muslo derecho y consecuentemente, facilitar las acciones de estiramiento sobre el mismo. Se sugieren, igualmente, tiempos cortos de contracción que no excedan los 4 segundos totales de duración.

Antes de pasar a otros reflejos que pueden resultar significativos desde el punto de vista de la flexibilidad, cabe señalar que, según la experiencia del autor, interesantes resultados se obtienen a partir de la asociación, por sumatoria espacial, de los reflejos de inhibición recíproca y extensor cruzado, Su aplicación práctica puede explicarse de la siguiente manera: supóngase que se desea estirar el grupo muscular isquiotibial del muslo derecho; pues bien, antes de su extensión asistida, se procede a la contracción simultánea del cuádriceps de muslo derecho y de los isquiotibiales del muslo izquierdo. Este procedimiento combina el efecto inhibitorio de dos reflejos que, sobre las motoneuronas alfa del músculo a estirarse, ejercen el mismo efecto hiperpolarizante. Al ser dos los reflejos evocados se podría suponer que el resultado final, en cuanto a relajación se refiere, superaría al de la simple estimulación de sólo un reflejo. No obstante, dicha conjetura debería ser investigada antes de ser confirmada o contrastada. Por lo pronto específicamente en cuanto a la combinación de los reflejos extensor cruzado y de inhibición recíproca se refiere, el autor aún no ha iniciado pesquisa correspondiente.

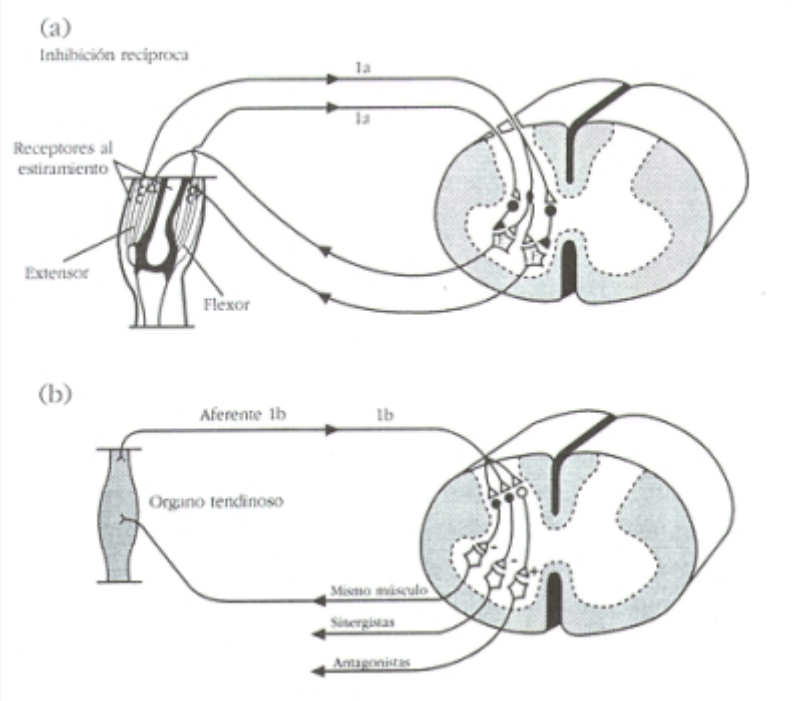


Figura 5. *Inervación - Inhibición recíprocas a análisis de un corte transversal de la autoexcitacion monosináptica del "propio" huso muscular y la inhibición disináptica de su antagonista cuando el uso muscular a través de su axón la activa las células nerviosas en la médula espiral (E=motoneurona: extensora; F=motoneurona flexora). B. Conexiones centrales de las fibras aferentes Ib que aseguran el contacto entre el órgano de Golghi y la médula espinal. Todas las conexiones hacia las motoneuronas ocurren a través de interneuronas. En el reflejo mediado por el sistema aferente Ib. Interneuronas inhibitorias (en negro) inhiben a motoneuronas que se dirigen hacia el músculo de origen y a sus sinergistas e interneuronas excitatorias excitan a las antagonistas. (Adaptado de KANDEL y SCHWARTZ, 1981 Tomando de ASTRAND y RODHAL, 1982, P.69*

Reflejo Tónico - Vibratorio

Se lo puede describir de la siguiente manera: la vibración del músculo producida por continuas y repetitivas sacudidas exteriores puede estimular a las aferencias Ia y provocar su contracción refleja. Ahora bien, en cuando a flexibilidad se refiere, el aprovechamiento de este reflejo se justifica a partir del hecho de que, conforme por un lado aumenta la excitabilidad de un determinado grupo muscular, por el otro lado inhibe al grupo muscular antagonista. Dicho efecto inhibitorio puede ser usufructuado con el propósito de potenciar la relajación antes de la extensión asistida del músculo en cuestión o, inclusive, durante la misma realización del ejercicio de estiramiento. Con respecto a los tiempos de estimulación del grupo muscular antagonista por acción de la vibración tónica, se sugiere un lapso de aproximadamente 10 segundos de duración. En lo posible, la vibración debe comprometer a la mayoría de las fibras que componen al músculo en cuestión.

Reflejo de Hoffman

Otra manera de excitar las aferencias Ia es por medio de la estimulación eléctrica a través de la piel. Para ello no hace falta la colocación de electrodos que, desde afuera, envíen hacia el estímulo corrientes eléctricas. En este sentido, un recurso valioso es la fricción manual de la piel que recubre a cierto músculo lo cual provoca, reflejamente, su excitación al tiempo que la musculatura opuesta resulta inhibida. Este mismo reflejo puede encontrarse bajo la denominación de "Reflejo de Tacto ligero" o "Fricción Cutánea" el cual, vale recordar, sólo se procura desencadenar a nivel de grupo muscular antagonista al que se elonga puesto que su naturaleza es de carácter excitatorio sobre el primero e inhibitorio sobre su opuesto. Se recomiendan, al igual que el Reflejo Tónico Vibratorio, períodos de estimulación cuya duración oscile entre los 8 y los 12 segundos, es decir, 10 segundos como término ideal.

Reflejos Cervicales Tónicos Simétricos y Asimétricos

Se trata de reacciones de adaptación postural que se producen por la estimulación de los receptores laberínticos (mácula sacular, mácula utricular y conductos semicirculares) y de los receptores propioceptivos localizados en las cápsulas y ligamentos de las articulaciones cervicales. Del conocimiento del mecanismo de su funcionamiento pueden inferirse

interesantes conclusiones relativas a la posición ideal de la cabeza durante la ejecución de un ejercicio de la elongación o de flexibilización.

El propósito de ubicar la cabeza en una determinada posición tiene que ver con el hecho de que, según como el cuello sea movido, ciertos músculos tenderán a excitarse y otros a inhibirse. De hecho, para estirar un músculo conviene elegir aquella posición de la cabeza que, por estimulación de los reflejos cervicales tónicos, provoque la inhibición del mismo.

El estudio de los reflejos cervicales tónicos simétricos enseña que cuando el **cuello se flexiona:**

- **Aumenta el tono de los músculos extensores de los miembros inferiores.**
- **Aumenta el tono de los músculos flexores de los miembros superiores.**
- **Disminuye el tono de los músculos flexores de los miembros inferiores.**
- **Disminuye el tono de los músculos extensores de los miembros superiores.**

Por otro lado, **al extenderse el cuello**, la reacción se invierte:

- **Aumenta el tono de los músculos extensores de los miembros superiores.**
- **Aumenta el tono de los músculos flexores de los miembros inferiores.**
- **Disminuye el tono de los músculos flexores de los miembros superiores.**
- **Disminuye el tono de los músculos extensores de los miembros inferiores.**

Finalmente, el análisis de los reflejos cervicales tónicos asimétricos muestra que **cuando la cabeza se voltea hacia un lado**, aumenta el tono de los músculos extensores de este mismo lado y disminuye en el otro hemicuerpo, mientras que los flexores del lado hacia el cual se gira la cabeza se inhiben mientras que los del otro lado se excitan.

Así, a simple vista, resulta hasta un poco complicado deducir la posición ideal de la cabeza cuando elongamos cierto grupo muscular. Una primera recomendación sugeriría en este sentido, lo siguiente:

- **Extensor de Miembros Inferiores:** Cuello Extendido.
- **Flexor de Miembros Inferiores:** Cuello Flexionado.
- **Extensor de Miembros Superiores:** Cuello Flexionado.
- **Flexor de Miembros Superiores:** Cuello Extendido.
- **Hemicuerpo Derecho - Grupo Extensor:** Cuello rotado hacia izquierda.
- **Hemicuerpo Derecho - Grupo Flexor:** Cuello rotado hacia la Derecha.
- **Hemicuerpo Izquierdo - Grupo Extensor:** Cuello rotado hacia la Derecha.
- **Hemicuerpo Izquierdo - Grupo Flexor:** Cuello rotado hacia la Izquierda.

Sin embargo, el problema surge cuando se estiran los músculos biarticulares que ejercen acción flexora sobre cierta articulación y extensora sobre otra como, por ejemplo, el bíceps femoral o el recto anterior. Para aquellos casos, la recomendación del autor es la de conservar la cabeza en una posición neutra, es decir, sin flexionar ni extender el cuello. No obstante, para el caso de músculos monoarticulares que cumplen tan sólo una de las dos funciones, puesto que lo que se procura es lograr el mayor índice de relajación posible, la prescripción técnica es la de ubicar la cabeza tal como lo indica el análisis realizado.

Reacción Positiva de Apoyo

Tal es el nombre que se le otorga al reflejo en virtud del cual, cuando se ejerce presión sobre la planta del pie, en ese miembro inferior se verifica un notable incremento del tono de su musculatura extensora. Se trata de un reflejo intenso que compromete a un complejo circuito de interneuronas similar a las responsables de los reflejos flexor y extensor cruzado. Su propósito es el de mantener el equilibrio corporal evitando la caída del cuerpo. Inclusive, la localización de la presión determina, del total de músculos, fascículos y fibras, aquellos que activarán a los efectos de contrarrestar el desequilibrio producido.

En cuanto a flexibilidad se refiere, puede deducirse que, al elongar o flexibilizar cualquier grupo muscular de los miembros inferiores cuanto menor sea la presión ejercida sobre la planta del pie, menor será también el aumento del tono extensor y mayor la relajación del músculo a estirar lo cual, a su vez, crea premisas aún más favorables para el entrenamiento de la flexibilidad. De ahí que la selección de ejercicios desde la posición de sentado o decúbito puedan resultar más efectivos que aquellos que se ejecutan (siempre par miembros inferiores) desde la posición de pie.

Propósito del Desencadenamiento de Mecanismos Inhibitorios Reflejos.

Indefectiblemente, al estirar un músculo y deformar las fibras intrafusal de los husos neuromusculares, se genera una

señal aferente que viaja hasta la médula espinal y tiende, luego de descargar neurotransmisor excitatorio, a despolarizar a las grandes motoneuronas alfa gestando un potencial de acción que regresando hacia el mismo músculo, lo contrae. Sin embargo, la vía eferente del arco reflejo puede no despolarizarse de la misma manera en todas las circunstancias. Puede, por el contrario, encontrarse en un estado en el cual, alejado su umbral de excitación, se torne realmente dificultosa su despolarización y se requieren, so pena de no lograr el objetivo, mayores cantidades de acetilcolina (neurotransmisor excitatorio) que lo habitual par generar un potencial de acción que, posteriormente se traduzca en una respuesta muscular contráctil limitante del estiramiento.

Al recibir la descarga de neurotransmisor inhibitorio (glicina, ácido gammaminobutírico, alanina, taurina, etc.) la motoneurona alfa eleva se negatividad debido a la apertura de los canales de Potasio y Cloro lo cual permite el ingreso al interior de la misma de Cloro (CI-) y el egreso de Potasio (K+). Sin embargo, a diferencia de la excitación, no se produce la apertura de los canales de Sodio (Na++) quedando este catión concentrado en le exterior de la motoneurona. En estas condiciones, verificado el flujo de Potasio (K+), el influjo del Cloro (CI-) y la imposibilidad de ingreso del Sodio (Na++), la carga negativa de la neurona se eleva considerablemente. Este aumento del grado de negatividad intracelular se denomina hiperpolarización y, precisamente, la activación de reflejos inhibitorios antes de los estiramientos procura elevarla a los niveles máximos. En estas condiciones, elevado el valor de la negatividad de la motoneurona, la vía eferente del reflejo miotático de tracción queda "neutralizada" en el sentido de que sólo estiramientos superiores en amplitud a los normales recién podrían activarla. Dicho en otros términos: resulta harto más difícil despolarizar a una motoneurona hiperpolarizada que a una motoneurona con potencial normal de reposo. Al resultar más dificultosa su excitación, el estiramiento puede extenderse a una amplitud mayor que la normal antes de que la respuesta contráctil aparezca para restringir la extensión del estiramiento.

De esta manera, "retrasada" o "neutralizada" la respuesta contráctil por inhibición de la vía eferente del reflejo miotático de tracción, los ejercicios de flexibilización pueden alcanzar mayor magnitud de recorrido incidiendo efectivamente sobre el tejido conectivo el cual, en definitiva, es el que sufre las principales adaptaciones al entrenamiento de la flexibilidad. Las Técnicas de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva estudian, precisamente (y en relación a la flexibilidad), aquellos procedimientos que, en virtud del desencadenamiento de reflejos inhibitorios hiperpolarizan a la motoneurona alfa del músculo a ser estirado posibilitando, por disminución y retraso en la aparición de la respuesta excitatoria, mayores amplitudes de rango de recorrido angular articular por reducción de la resistencia opuesta por los componentes contráctiles del tejido muscular deformado.