

FLEXIBILIDAD ARTICULAR
Bases biológicas, medición y desarrollo

Elementos Constitutivos de la Motricidad IV

Apuntes de Clase


Por:

Gustavo Ramón S.*

* Doctor en *Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* (Universidad de Granada).

Docente - Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia (Colombia).

Correo: gusramon2000@yahoo.es



LA FLEXIBILIDAD

En la presente unidad se estudiará la flexibilidad, capacidad condicional necesaria para la correcta ejecución de los movimientos humanos y deportivos, reconocida por el Colegio Americano de Medicina Deportiva (1995) como una capacidad necesaria de mantener tanto en las personas no deportistas como la deportista por la estrecha correlación que existe entre la falta de flexibilidad y las lesiones musculares y articulares.

Para su estudio se seguirá el siguiente derrotero:

- Definición
- Tipos de Flexibilidad
- El tejido conectivo como limitante de la flexibilidad
 - El colágeno
 - La elastina
- Composición de tejidos especiales
 - Tendones
 - Ligamentos
 - Fascias
 - Efectos de la inmovilización
- Factores limitantes de la Flexibilidad
 - El músculo
 - Desequilibrio muscular
 - Control muscular
 - Envejecimiento
 - Inmovilización
 - Hueso
 - Períodos críticos
 - Sexo
 - Viscosidad y calentamiento
- Principio de sobreestiramiento
- Tipos y variedades de estiramiento
- Facilitación neuromuscular propioceptiva
 - Técnicas

1. DEFINICION.

La flexibilidad ha sido definida como *movilidad* según Dietrich (1988), es decir, la capacidad del hombre para ejecutar movimientos con una gran amplitud de oscilaciones. Según Donskoi y Zatsiorski (1988) , la flexibilidad es la capacidad de ejecutar movimientos con una gran amplitud. El término aplicado a las articulaciones se cambia por *movilidad*. Para Alter (1990), la flexibilidad es la amplitud de movimiento disponible en una articulación o grupo de articulaciones. La flexibilidad es específica para cada articulación, no encontrándose índices aislados de flexibilidad. Un buen índice de flexibilidad de hombro no indica un buen índice de flexibilidad del tobillo.

2. TIPOS DE FLEXIBILIDAD.

Para Dietrich, Donskoi-Zatsiorski y Halter, existen dos tipos de flexibilidad:

- La flexibilidad activa : que es la capacidad de ejecutar movimientos en una articulación dada por intermedio de las fuerzas musculares internas.
- La flexibilidad pasiva : es la amplitud articular que se logra por la intervención de fuerzas externas.
- La diferencia entre las dos se denomina déficit de la flexibilidad activa, el cual está determinado por la magnitud de la fuerza de tracción que puede desarrollar el músculo.

3 EL TEJIDO CONECTIVO COMO LIMITANTE DE LA FLEXIBILIDAD.

Cuando se habla de tejido conectivo se refiere a las estructuras que confieren al cuerpo su forma y su contextura. A menudo se aplica a tejidos como el hueso, tendones, aponeurosis y cápsulas articulares, pero también forma parte de las paredes de los grandes vasos, los órganos internos, porque de alguna manera todos los órganos tienen algún elemento conectivo que no solo le confiere la forma sino que contribuye a su función mecánica.

3.1. El colágeno:

En la mayoría de los tejidos conectivos, el colágeno es un componente estructural primordial. Es la proteína más abundante en el reino animal, constituyendo la tercera parte del total de proteínas de los vertebrados superiores. En el hueso del hombre representa el 93% de la material orgánico.

La organización del colágeno es análoga a la del músculo. El colágeno en un tendón está dispuesto en haces ondulados llamados fascículos. El diámetro de cada fascículo varía de 50 a 300 micras. A su vez, el fascículo está compuesto de haces de fibrillas, cada una de las cuales tiene un diámetro aproximado de 500 a 5000 Amstrongs (A), De la misma manera, las fibrillas están compuestas de subfibrillas colágenas, cada una con un diámetro de 100 a 200 A. Cada subfibrilla está compuesta de haces de microfibrillas o filamentos de colágeno, cada uno con un diámetro aproximado de 35 A.

Las microfibrillas colágenas están compuestas de moléculas de colágeno, espaciadas y superpuestas regularmente, unidades análogas a los sarcómeros del músculo. A su vez, las moléculas de colágeno están formadas por espirales de aminoácidos, de 2800 A de longitud y 15 A de diámetro. Se alinean en forma paralela con una superposición de un cuarto de su longitud. Esta superposición le confiere una estriación característica, que va desde 600 a 700 A, según la fuente y el grado de hidratación.

La molécula de colágeno es una triple cadena helicoidal rígida. De las tres cadenas, dos son idénticas (las alfa 1) y la tercera es distinta (alfa 2). Las tres cadenas están unidas mediante puentes de Hidrógeno que forman enlaces cruzados. Estos enlaces intermoleculares cruzados entre cadenas y subfibrillas es el factor que le confiere la gran resistencia a la tensión que posee la molécula de colágeno. Según Alexander (1973), entre mas enlaces cruzados y/o mas corta la longitud entre los enlaces cruzados, mayor será la resistencia al estiramiento.

Cada una de las cadenas tiene un residuo de glicina (aminoácido) en cada tercera posición; otros aminoácidos abundantes son la prolina y la hidroxiprolina. La 4-hidroxiprolina es la responsable de la estructura helicoidal, debido a que contiene Nitrógeno en su estructura, molécula que facilita la rotación.

Un factor que afecta el comportamiento mecánico del colágeno es la presencia de *substancias cemento* o substancias que están profusamente distribuidas dentro del tejido conectivo. Forman una matriz no fibrilar en forma de gel, el cual está compuesto de glucosaminoglicanos (GAGs), proteínas, plasma, proteínas pequeñas y agua. Los cuatro GAGs mas importantes son el ácido hialurónico, el condroitín-1-sulfato, el condroitín-6-sulfato y el dermatán-sulfato. Por lo general, los GAGs están ligados a una proteína y se hace referencia a ellos en forma colectiva como proteoglicanos, los cuales en el tejido conectivo se combinan con el agua para formar una agregado de proteoglicano.

El agua representa el 60 al 70% del contenido del tejido conectivo. Los GAGs poseen una enorme capacidad de fijación de agua, considerado por esto como moléculas con un alto contenido de agua. El hialuronato hidratado ocupa un espacio 1.000 veces mayor que deshidratado. El ácido hialurónico y el agua que absorbe es el principal lubricante del tejido conectivo fibroso, manteniendo una distancia crítica entre las fibrillas y permitiendo el libre desplazamiento de las fibrillas.

El envejecimiento deshidrata y cristaliza las fibrillas de colágeno, aumentando su rigidez por aumento de los puente cruzados entre las moléculas.

Cuadro resumen los principales tipos de colágeno y la distribución en los tejidos

Tipo	Forma molecular	Distribución en los tejidos
I	(alfa1(I) alfa2	Hueso, dermis, tendón, ligamentos, fascias, paredes arteriales, órganos parenquimatosos.
II	alfa 1(II)3	Cartilago hialino
III	alfa1 (III)3	Dermis, paredes arteriales, útero, órganos parenquimatosos.
IV	alfa 1 (IV) alfa 2 (IV) alfa3 (IV)	Membrana basal
V	alfa 1 (IV) alfa 2 (IV)	Membranas basales, placenta, músculo

A diferencia de un sarcómero, una fibra de colágeno es comparativamente inextensible. La fibra de colágeno es tan inelástica que un peso de 10.000 veces superior al mismo no lo estirará (Verzar, 1963). Las investigaciones indican que las fibras microscópicas pueden ser estiradas hasta un máximo inferior al 10% de su longitud inicial. No obstante, a nivel molecular, las proteofibrillas experimentan un estiramiento de

solo el 3% (Ramachandran, 1967). El estudio de Cowan, McGavin y North (1955) descubrió que el estiramiento aumentó el intervalo de 2.86 a 3.1 Å o más.

Se cree que tal estiramiento se produce por un ordenamiento de las fibras y/o por un gradual deslizamiento de una fibra hacia las más cercanas. Finalmente, esto resulta en un incremento de la cristalinidad u orientación, que fortalece la cadena intermolecular y aumenta la resistencia al alargamiento. Este proceso puede ser comparada al hilado de un ovillo de algodón: con un incremento de la cristalinidad existe un aumento de la intertrama de las moléculas adyacentes. Por consiguiente, existe un aumento de la regularidad de la envoltura y se intensifican las fuerzas intercadena, lo cual permite aumentar la resistencia a las fuerzas deformantes. De este modo, las fibras de colágeno permiten el alargamiento hasta que se elonga la parte floja de sus haces ondulados. Sin embargo, si el estiramiento continúa, la fibra se rompe (Holland, 1968; Laban, 1962; Weiss & Greer, 1977).

3.2. La elastina:

La elastina es el principal componente del *tejido elástico* pero también hace parte de las cápsulas articulares, del cartílago, del sarcolema muscular, entre otros, de forma que se puede encontrar entremezclado con el tejido conectivo.

Las fibras elásticas compuestas solo de elastina, desempeñan una variedad de funciones, incluyendo la difusión de la tensión que se origina en puntos aislados, aumentando la coordinación de los movimientos de las partes del cuerpo, conservando la energía para el mantenimiento del tono durante la relajación de los elementos musculares, brindando una defensa contra las fuerzas excesivas y ayudando a los órganos a recuperar su configuración normal una vez que han cesado todas las fuerzas (Jenkins & Little, 1974).

Las fibras elásticas con comparadas habitualmente con las fibras colágenas, debido a que ambas están estrechamente vinculadas, al punto de que pueden contener fibras colágeno dentro de su estructura. Las fibras elásticas son homogéneas ópticamente. Además, son altamente refráctiles y casi isotrópicas. Al microscopio electrónico, dan la imagen de un cordel enrollado, con ausencia de estructura periódica.

Se considera que las fibras elásticas están compuestas de una red de cadenas accidentalmente enroscadas y que probablemente están unidas por enlaces covalentes y cruzados. Sin embargo, las fuerzas intercadena no-covalentes son consideradas débiles y se cree que los mismos enlaces cruzados están muy espaciados (Weiss & Greer, 1977). Por consiguiente, los enlaces cruzados elásticos no integran los bloques estructurales en una unidad resistente similar a las fibras de colágeno.

La elastina es el componente fundamental del *tejido elástico*. Es una estructura compleja compuesta de aminoácidos hidropólicos no polares, con poca hidroxiprolina y nada de hidroxilisina. Así mismo, la elastina es la única que *contiene desmosina e isodesmosina*, que actúan como enlaces cruzados y covalentes dentro de las cadenas polipeptídicas y entre ellas. Al igual que el colágeno, casi un tercio de los residuos de la elastina lo constituyen la *glicina* y cerca de un 11%, la *prolina*.

Las fibras elásticas ceden fácilmente al estiramiento pero recuperan su longitud original una vez cesa la fuerza deformante (hecho que diferencia los materiales elásticos de los materiales plásticos, ya que en estos últimos la longitud inicial no se recupera luego de que cesa la fuerza deformante). Solamente cuando las fibras elásticas son estiradas hasta casi el 150% de su longitud de reposo llegan a alcanzar su punto de ruptura; para lograrlo se requiere de una fuerza de solo 20 a 30 Kg/cm² (Bloom & Faawcet, 1975).

Las fibras elásticas ceden fácilmente al estiramiento porque, al estar compuestas de cadenas espirales en forma aleatoria, unidas solo por enlaces covalentes, estos enlaces solo imponen una restricción débil. Como resultado, una fuerza unidireccional mínima puede producir un alargamiento extenso de las cadenas, antes de que los enlaces cruzados puedan originar restricciones (Akenson, Amiel & Woo, 1980) Daonatelli & Owens-Burkhart, 1981).

Como resultado del envejecimiento, las fibras elásticas pierden su elasticidad por deformaciones como la fragmentación, la calcificación y otras mineralizaciones, aumento de los enlaces cruzados por incremento de la desmosina, isodesmosina y de la lisinonorleucina, y por aumento de los GAGs como el condroitín sulfato B, queratan sulfato, conjunto que le confiere mayor rigidez a la elastina (Bick, 1961; Gosline, 1976; Scuber & Hamerman, 1968).

4 COMPOSICION DE TEJIDOS CONECTIVOS ESPECIALES :

4.1. Los tendones :

Los tendones son los elementos que permiten la unión de los músculos a los huesos, a los cuales transmiten la tensión generada. Los tendones están compuestos de tejido conectivo, específicamente de fibras colágenas paralelas, densamente agrupadas, siendo por tal motivo inelástico, es decir, indeformable. Esto hecho garantiza que los mas mínimos movimientos generados por la contracción muscular puedan ser transmitidos a la estructura ósea y de esta manera se garantiza un movimiento fino y coordinado.

Johns y Wright (1962) determinaron que los tendones proporcionan casi el 10% de la resistencia total al movimiento. En el tendón, una tensión del 4% es considerada como especialmente significativa y corresponde al límite de reversibilidad y de elasticidad (Crisp, 1972). En este punto, las ondulaciones de la superficie del tendón desaparecen y, si el estiramiento continúa, puede provocar su ruptura.

4.2. Los ligamentos :

Los ligamentos son estructuras de tejido conectivo que unen los huesos entre si. Por consiguiente, al contrario de los tendones, unen dos elementos rígidos como lo son los huesos. Su función fundamental es mantener las relaciones de las estructuras ósea que unen. Si se deteriora el ligamento, también se deteriora la función articular .

Los ligamentos se encuentran diferentes formas : cuerdas, fajas o láminas. Están compuestos de fibras colágenas dispuestas con menor regularidad que los ligamentos, pero estrechamente relacionadas, pero a diferencia de los tendones, los ligamentos

poseen fibras elásticas dentro de su estructura, hecho que garantiza la adaptabilidad y flexibilidad que debe poseer una articulación para su libertad de movimientos, pero de la misma manera son fuertes y resistentes por las fibras de colágeno. Algunos ligamentos contienen mayor cantidad de tejido elástico como el ligamento amarillo de la columna vertebral, hecho que varía su función en el sentido de que será un ligamento que permite una gran movilidad pero que no soporta tensiones por su escaso contenido de colágeno.

Los ligamentos y la cápsula articular aportan casi el 47% de la resistencia total al movimiento (Johns & Wright, 1962). En consecuencia, son sumamente significativos en la determinación de la amplitud máxima del movimiento articular.

4.3. Fascias :

La palabra *fascia* significa haz o faja, y se usa para describir las estructuras conectivas fibrosas que no reciben una denominación específica. Las fascias varían en grosor y densidad de acuerdo con las demandas funcionales, presentándose habitualmente en forma de láminas membranosas.

Las láminas que encierran todo el músculo se denominan epimisio; las que envuelven los fascículos se denominan perimisio; las que rodean cada fibra, endomisio y por último está el sarcolema, que es la lámina que envuelve el sarcómero. Es desde esta red de tejido conectivo que se origina en los músculos la elasticidad latente o la resistencia a la tensión.

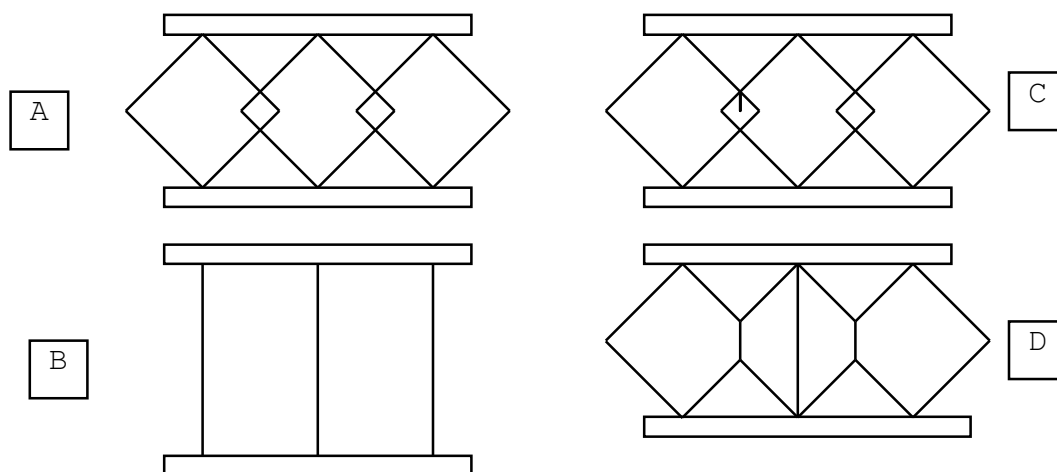
El tejido conectivo constituye más del 30% de la masa muscular. Durante un movimiento pasivo, la cantidad total de fascia de un músculo representa el 41% de la resistencia total al estiramiento (Johns & Wright, 1962).

El cuadro resume la resistencia de los tejidos conectivos al estiramiento.

Estructura	Resistencia el estiramiento
Cápsula articular	47 %
Fascia muscular	41 %
Tendón	10 %
Piel	2%

4.4. Efectos de la inmovilización e inactividad sobre estos tejidos:

La inmovilización está asociada con una disminución del 40% del ácido hialurónico, un 30% del condroitín 4-sulfato y condroitín 6-sulfato más una pérdida de agua del 4.4% (Akenson, Amiel, La violette, 1967 ; Dinatelli, Owens-Burkhart, 1981). Estos factores reducen la extensibilidad de las moléculas de colágeno y disminuyendo la movilidad articular.



- A : Músculo en reposo sin formación de puentes.
- B : Músculo estirado
- C : Músculo con formación de puentes
- D : Músculo estirado con formación de puentes

5. FACTORES LIMITANTES DE LA FLEXIBILIDAD.

5.1. Cuando un sarcómero es estirado hasta el punto de ruptura, este puede alcanzar aproximadamente 3.60 micras. La longitud en el cual se pueden establecer uniones entre la actina y la miosina, la longitud es de 3.50 micras. Si la longitud promedio del sarcómero en reposo es de 2.30 micras, el músculo es capaz de aumentar su longitud en 1.20 micras (3.50-2.30), aumento que representa el 50% de estiramiento de la longitud de reposo.

5.2. El desequilibrio muscular : los músculos con demasiado tono (hipertónicos) o débiles (hipotónicos) ocasionan en los músculos antagonicos contracciones o debilidades que bloquean el rango normal de movimiento.

5.3. El control muscular : algunas habilidades motrices complejas solo pueden ser ejecutadas con la adecuada combinación de todos los componentes de la habilidad y aptitud física requeridos.

5.4. El envejecimiento : por pérdida progresiva de la masa muscular (Grob, 1983) unida a la inactividad.

5.5. La inmovilización : cuando se inmoviliza un músculo en extensión, el número de sarcómeros aumenta y cuando se inmoviliza en flexión se disminuye el número de sarcómeros (Tabaray, 1972). Cuando se retira el yeso, la longitud del músculo vuelve a ser la inicial y funcional requerida (Goldspink, Tabaray, 1974). La cantidad de sarcómeros no parece estar controlada por influencia neuronal, sino mas bien parece ser una respuesta miogénica a la cantidad de tensión pasiva a la cual el músculo está sometido (Goldspink, Tabaray, 1974). Independiente de la pérdida de sarcómero asociada a las inmovilizaciones en flexión, el músculo pierde masa muscular y gana tejido conectivo, lo que reduce la extensibilidad del músculo. Esta pérdida de la

extensibilidad es un mecanismo de seguridad que protege al músculo de un sobreestiramiento brusco (Goldspink, 1976).

5.6. Los huesos : en los huesos se produce un desarrollo longitudinal, conjuntamente con los tejidos blandos como el músculo y el tendón. No obstante, durante los períodos de crecimiento rápido puede existir un incremento de la tensión en el músculo-tendón alrededor de las articulaciones y una pérdida de la flexibilidad debida a que el desarrollo de los huesos es mucho mas rápido que el estiramiento de los huesos (Kendal & Kendal, 1948; Leard, 1984; Micheli, 1983). Por lo tanto, la flexibilidad es una condición que se pueden empezar a perder desde los 6 o 7 años, motivo por el cual se debe entrenar para mantener las articulaciones móviles y así evitar lesiones.

5.7. Períodos críticos : Los trabajos de Sermeev sobre movilidad de la articulación de la cadera de 1.440 deportistas y 3.000 niños y adultos no participantes en actividades físicas, demostró que la movilidad en la cadera no está desarrollada de manera idéntica en todos los períodos de edad. Específicamente, observó que el desarrollo mas importante tiene lugar entre los 7 y los 11 años. Sin embargo, para los 15 años los índices de movilidad de la cadera alcanzaron su máximo; en los años sucesivos decreció. A los 50 años existe un descenso significativo en la movilidad de la articulación de la cadera, descenso que se hace mas pronunciado después de los 60 a 70 años. De modo similar, un examen de los trabajos de Corbin y Noble (1980) revela que la flexibilidad aumenta durante los años de la escuela básica y hasta comienzos de la adolescencia, en que comienza una estabilización o decrecimiento.

La evidencia actual indica que la flexibilidad puede ser desarrollada a cualquier edad mediante entrenamiento adecuado. Sin embargo, la velocidad de avance no sería la misma a cualquier edad lo mismo que el potencial de movimiento a lograr. Es decir, entre mas tarde se inicie el entrenamiento de la flexibilidad, menor será la posibilidad de una mejora completa.

5.8. Sexo : la evidencia indica que, como regla general, las mujeres son mas flexibles que los hombres. Si bien se carece de pruebas concluyentes sobre este efecto, parece ser que existen diferencias anatómicas que explican y funcionales que explican las diferencias. La mujer está diseñada para una mayor amplitud de movimiento, especialmente en la región pélvica : caderas mas amplias y menor tono muscular. Corbin (1973) sugiere que las niñas tienen mayor potencial para la flexibilidad por su menor altura del centro de masa y menor longitud de las piernas. Corbin y Noble (1980) sugieren que las diferencias de actividad regular entre sexos también puede explicar la diferencia de flexibilidad entre ambos sexos.

5.9. Proporción corporal, superficie corporal, piel y peso : se han hecho numerosos intentos por relacionar estos factores con la flexibilidad, pero sus resultados han sido inconsistentes. Lo que se ha aceptado es que la flexibilidad es específica (Dickenson, 1968; Harris, 1969), es decir depende de la musculatura, de la estructura ósea y del tejido conectivo que rodea la articulación. Este hecho hace que no exista un índice único que mida la flexibilidad del cuerpo.

5.10. La viscosidad y el calentamiento: La viscosidad es definida como la resistencia a la fluidez, o , como una fuerza manifiesta que previene que los fluidos se derramen fácilmente. El tejido conectivo y viscosidad muscular podrían ser responsables del

movimiento restrictivo (Leighton, 1960). Primero, se sabe que la temperatura tiene un efecto inverso sobre la viscosidad; es decir, cuando aumenta la temperatura de los tejidos del cuerpo, decrece la viscosidad del tejido y viceversa. Segundo, esa viscosidad reducida mejora de modo significativo la relajación viscosa en los tejidos colágenos (Sapega et al, 1981). El mecanismo específico es aún desconocido. Mason et al (1963) y Rigby et al (1969) entre otros, han sugerido que el enlace intermolecular resulta parcialmente desestabilizado, intensificando las propiedades de flujo viscoso del colágeno. Tercero, esto confiere menos resistencia al movimiento y se traduce en un aumento de la flexibilidad.

Probablemente el método mas comúnmente utilizado para elevar la temperatura del cuerpo y reducir la viscosidad del tejido es el empleo de ejercicio de calentamiento. Otros métodos incluyen el uso de compresas calientes, duchas calientes, diatermia, ultrasonido y masaje. La viscosidad no tiene efectos a largo plazo sobre la flexibilidad (Aten & Knigt, 1978).

6. EL PRINCIPIO DEL SOBRESTIRAMIENTO :

Doherty (1971) sugiere que si se acepta la palabra sobrecarga como relacionada a la resistencia estructural en los músculos, luego, el sobreestiramiento debe ser admisible en el entrenamiento de la flexibilidad. El principio de sobreestiramiento puede ser definido como el principio fisiológico del cual depende el desarrollo de la flexibilidad. Implica que cuando una persona es estimulada en forma regular por medio de un programa progresivamente intensivo de sobreestiramiento, el cuerpo responderá con una capacidad aumentada de estiramiento. El aumento de la flexibilidad se logra mediante la implementación de un movimiento que supera la amplitud de movimiento posible existente (Jones, 1975). La mayoría de los programas recomiendan un estiramiento de 6 a 12 segundos de duración.

Tal como fue propuesto por Wallis y Logan (1964), la fuerza, la resistencia y la flexibilidad deberían estar basados en el principio de adaptación específica a las demandas impuestas. Esto es, uno debería estirar a una velocidad no menor al 75% de la velocidad máxima a través del plano exacto de movimiento, amplitud de movimiento y en los ángulos articulares precisos utilizados durante un movimiento en particular.

Para llevar a cabo un buen plan de entrenamiento se debe tener presente:

- el conocimiento de las limitaciones articulares,
- principios del estiramiento
- aplicación del principio de sobreestiramiento
- los reflejos medulares
- métodos de estiramiento

7. TIPOS Y VARIEDADES DE ESTIRAMIENTO

- Balístico : normalmente está asociado a movimientos de balanceo, saltos, rebotes o rítmicos. Otros términos son : estiramiento isotónico, dinámico, cinético o rápido.

- Estático: implica el empleo de una posición que es mantenida y que puede ser o no repetido.
- Pasivo: el individuo no realiza contracciones musculares y el movimiento es producido por un agente externo, que puede ser un compañero o un equipo especial.
- Pasivo- activo : el estiramiento es realizado por un agente externo y después el individuo intenta mantener la posición mediante contracción isométrica.
- Activo-asistido : el movimiento es realizado por la contracción voluntaria de la musculatura, pero el movimiento completo se realiza con ayuda del compañero.
- Activo : es efectuado por la contracción muscular del individuo, sin ayuda.

8. FACILITACION NEUROMUSCULAR PROPIOCEPTIVA .

La *facilitación neuromuscular propioceptiva* (FNP) puede ser definida como un método que favorece o acelera el mecanismo neuromuscular mediante la estimulación de los propioceptores (Knott & Voss, 1968). La FNP fue formulada y desarrollada originalmente como un método de terapia física para rehabilitación de pacientes.

La FNP está basada en varios mecanismos neurofisiológicos importantes, que incluyen la facilitación, la inhibición, la resistencia, la irradiación, la inducción sucesiva y los reflejos. Las acciones de facilitación son aquellas que incrementan la excitabilidad neuronal. Las acciones facilitadoras son todos los estímulos que disminuyen el umbral de las motoneuronas o provocan el reclutamiento de motoneuronas adicionales. Las acciones inhibitorias son aquellas que disminuyen su excitabilidad. La inhibición y la excitación son procesos inseparables. Una técnica que favorece la facilitación de un músculo agonista promueve simultáneamente la relajación o inhibición de un antagonista, por el reflejo de *inhibición recíproca*.

La facilitación y la excitación son producidas predominantemente por la resistencia muscular de las contracciones activas. La *resistencia máxima* puede ser definida como la mayor cantidad de resistencia que puede ser aplicada a una contracción isotónica o activa permitiendo que se efectúe la amplitud total del movimiento (Knott & Voss, 1968). La resistencia máxima brinda los medios de protección de los excesos o *irradiación* desde los modelos de movimiento mas adecuados a los menos adecuados. De este modo, la irradiación puede ser definida como la difusión de excitación en el sistema nervioso central que da lugar a la contracción de los músculos sinergistas en un patrón específico (Holt, Surburg, 1981). Esto se logra generalmente mediante la inducción sucesiva o la contracción de un músculo agonista, seguida inmediatamente por la activación de una músculo antagonico (Holt, Surburg, 1981).

Las técnicas de FNP implica el control del reflejo de estiramiento. Este reflejo comprende dos receptores : el huso muscular y el órgano tendinoso de Golgi. Una contracción isométrica de un músculo sometido a un estiramiento leve es seguida de una relajación proveniente de la inhibición autogénica (Cornelius, 1981). La inhibición autogénica es la inhibición que es mediatizada por las fibras aferentes desde un músculo estirado y actúa sobre las motoneuronas alfa que inerva dicho músculo, provocando así

el relajamiento. Se cree que los órganos tendinosos de Golgi están implicados en este proceso. Otra explicación a este fenómeno es que las contracciones isométricas alteran de algún modo la manera como los husos musculares responden a las condiciones de estiramiento mediante la disminución del flujo aferente de impulsos desde esos propioceptores (Holt, 1981).

El segundo método para inducir relajación de los músculos antagonistas es mediante la contracción isométrica de los músculos agonistas. Esta acción facilita la relajación a través del reflejo de inhibición recíproca. Así, cuando las motoneuronas del músculo agonista reciben impulsos excitadores desde los nervios aferentes, las motoneuronas que activan a los músculos antagonistas son inhibidas mediante los impulsos aferentes.

Las ventajas del FNP radican en logros más rápidos, mayor efectividad, mayor fortalecimiento, mejoras en la resistencia y en la circulación sanguínea (Alter, 1989). Entre las desventajas están el dolor y la molestia (Moore y Hutton, 1980), mayor peligro de lesión (Cornelius, 1983) muscular y por lo tanto requieren de mayor control.

TECNICAS :

1. *Contracciones repetidas* (CR) : luego de excitaciones sucesivas (contracciones sucesivas) una motoneurona es inhibida (Kabat, 1950 ; Thigpen et al, 1985). Entre mayor sea la contracción inicial, mayor será la inhibición subsecuente. En este método se inicia con una contracción isométrica del músculo a ser estirado, luego se produce una relajación para luego producir un estiramiento. Ya que el músculo es estirado cuando la motoneurona es menos excitable, el reflejo de estiramiento no obra por esta misma razón.
- 2.
3. *Contracción del agonista* (CA) : en este esquema, el músculo a ser estirado se toma como el antagonista. Esta técnica implica contracción submáxima del agonista mientras el individuo intenta elongar el antagonista. El fundamento de esta técnica es que la contracción del agonista produce relajamiento del antagonista por el reflejo de inhibición recíproca.
- 4.
5. *Contracciones repetidas y contracción del agonista* : es un paso más avanzado que implica la asociación entre las dos técnicas anteriores, técnicas que no son excluyentes.

Ninguna de estas técnicas ha mostrado ser más efectiva que la otra (Moore y Hutton, 1980) encontrando que hay mucha variabilidad en sus respuestas, la última técnica produjo mayores rangos de flexibilidad no existiendo diferencias entre la ganancia obtenida con el método estático y las contracciones repetidas. Condon y Hutton (1987) no encontraron diferencias entre CR + CA , CA y CR y las técnicas estáticas.

9. MEDICIÓN

Dentro de los métodos de medición de la flexibilidad existen los métodos indirectos y directos (MacDougal y col., 2000). Entre los indirectos se encuentra la prueba de Cureton, la prueba de Wells y Dillon. Entre los métodos directos, la goniometría, la fotografía estática y la radiografía.

Boone y col. (1979), empleando la técnica de goniometría, midieron jóvenes entre los 15 y 19 años de edad. Sus resultados se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 1. Valores angulares medios (entre paréntesis, la desviación estandar) para los movimientos angulares de los miembros inferiores según Boone y col. (1979)

	PLANO FRONTAL		PLANO SAGITAL		PLANO TRANSVERSAL	
	Abducción (Eversión)	Aducción (Inversión)	Flexión	Extensión	Rotación Interna	Rotación Externa
Cadera	51° (8.8°)	28° (4.1°)	123° (5.6°)	7.5° (7.3°)	50° (6.1°)	50° (6.1°)
Rodilla			81° (*)			
Tobillo			144° (5.1°)			
	22° (4.6°)	37° (4.7°)	13° (4.7°)	58° (6.1°)		

Ramón (2006), empleando la fotogrametría propone una nueva manera de medirla e interpretarla. Establece el concepto de *índice de flexibilidad relativa (IFR)*, el cual consiste en comparar el valor de movilidad obtenido y compararlo con los estándares considerados como normales para la población. Usa la siguiente relación: $IFR = (\text{Valor obtenido} * 100) / \text{valor de referencia o normal}$. Si los valores obtenidos son iguales a los de referencia, IFR será igual al 100% que es el valor **normal**; si es menor, será menor del 100 y en el caso de ser mayor, pues será superior al 100%. Se promedian luego los valores de todas las articulaciones y el promedio será el **Índice general de flexibilidad o IGF**.

BIBLIOGRAFÍA.

- ALTER, M.J. (1997). Sport Stretch. Champaign, IL: Human Kinetics.
- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. (2000). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.
- ATHA, J. (1984). Strengthening muscle. *Exercise and Sports Sciences Reviews*. 9:1-73.
- BLUM, B. (2000). Los estiramientos. Editorial Hispano Europea: Barcelona.
- BOONE, D.C., AZEN, S.P., LIN, C.M., EPENCE, C., BARON, C. y LEE, L. (1978). Reliability of goniometric measurements. *Physical Therapy*, 58:1355-1360.
- GEORGE, James, FISHER, A. y Col. (1996). Tests y pruebas físicas. Editorial Paidotribo: Barcelona.
- HARRIS, M.L. (1969). A factor analytic study of flexibility. *Research Quarterly*. 40:62-70.
- HARTLEY-O'BRIAN, S.J. (1980). Six mobilization exercises for active rang of hip flexion. *Research Quarterly for exercise and Sport*. 51, 625-635.
- HOLT, L.E., TRAVIS, J.M., y OKITA, V. (1970). Comparative study of three stretching techniques. *Perceptual and Motor Sills*. 31:611-616.
- HUPPRICH, F. y SIGERSETH, P.O (1950). Specificity of flexibility in girls. *Research Quarterly*. 21:6-13.
- IBAÑEZ, A., y TORREBADELLA, J. (1994). 1004 ejercicios de flexibilidad. Paidotribo: Barcelona.
- KNUTTGEN, H.G. y KRAEMER, W. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *Journal Apl. Sports Science Res*. 1(1); 1-10.
- KOTTKE, F.J., y MUNDALE, M.O. (1959). Range of mobility of the cervical spine. *Archieve of Physical Medicine and Rehabilitation*. 40:379-382.

- LEIGHTON, J.R. (1955). An instrument and technique for measurement of range and joint motion. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 36:571-578.
- MacDOUGALL, J.D., WENGER, H.A., y GREEN, H.J. (2000). Evaluación fisiológica del deportista. Paidotribo: Barcelona .
- MARTINEZ, Emilio. (2002). Pruebas de aptitud física. Editorial Paidotribo: Barcelona.
- MIRELLA, Ricardo. (2001). Las nuevas metodologías del entrenamiento de la fuerza, la resistencia, la velocidad y la flexibilidad. Editorial Paidotribo: Barcelona.
- MOORE, M.A., y HUTTON, R.S. (1980). Electromiographic investigation of muscle stretching techniques. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. 12:322-329.
- MOORE, M.L. (1949). The measurements of joint motion: part II. The technic of goniometry. *Physical Therapy Review*.29:256-264.
- MUNROE, R.A. y ROMANCE, T.J. (1975). Use of Leighton flexometer in the development of a short flexibility test battery. *American Corrective Therapy Journal*. 29:22-25.
- PRENTICE, W.E., y KOOIMA, E. (1989). The use of PNF techniques in the rehabilitation of sport-related injury. *Athletic Training*, 21(1): 26-31.
- SIGERSETH, P.O. y HALISKI, C. (1950). The flexibility of football players. *Research Quarterly*. 21:394-398.
- TANIGAWA, M.C. (1972). Comparison of hold-relax procedure and passive mobilization on increasing muscle length. *Physical Therapy*. 52:725-735.
- VERRIL, D., y PATE, R. (1982). Relationship between duration of static stretch in the sit and reach position and biceps femoris electromyographic activity. *Med Sci Sports Exerc*. 14:124.
- WALLIN, D., EKBLUM, B., GRAHAN, R., y NORDENBORG, T. (1985). Improvement of muscle flexibility: A comparison between two techniques. *American Journal of Sports Medicine*. 13:263-269.
- WILMORE, J., COSTILL, D. (1994). Physiology of sport and exercise. Human Kinetics:Champaign.