

Efectos de los estiramientos del tríceps sural sobre el apoyo plantar y la movilidad de tobillo en futbolistas de 12 y 13 años

*Md. Cirujano, Candidato a Magíster
en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
**Dr. en Ciencias del Deporte
***Esp. en Medicina Deportiva
(Colombia)

Juan Cancio Arcila Arango*

jotace60@une.net.co

Donaldo Cardona Nieto**

dcardona@elpoli.edu.co

Juan Gustavo Giraldo***

depormed@une.net.co

Resumen

La realización de estiramientos de los grupos musculares de la parte posterior de la pierna, produce variaciones significativas en el movimiento angular del tobillo y en la función de apoyo plantar en futbolistas jóvenes. El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de los estiramientos combinados de gastrocnemios sobre los movimientos de flexión dorsal y plantar de la articulación del tobillo y sobre la caracterización de la huella plantar. En esta investigación se empleó una muestra de 17 futbolistas entre 12 y 13 años de edad. El grupo entrenó dos días por semana con una duración de 2 horas cada vez, dedicando la cuarta parte del tiempo al final de cada sesión a la aplicación de los estiramientos. En las semanas anterior y posterior a la aplicación, se realizaron mediciones sobre fotografías con el software Adobe Photoshop CS4. Se aplicó análisis de varianza para observar el efecto de los estiramientos sobre la caracterización del apoyo plantar en cada uno de los pies y sobre los ángulos de dorsiflexión y plantiflexión de los deportistas. Se encontró que los estiramientos aumentan el ángulo de dorsiflexión y plantiflexión ($P < 0.05$) en ambos pies. No hay diferencias significativas entre los valores de apoyo plantar antes y después de los estiramientos. Existe correlación entre los valores de la medida metatarsal antes y después de la rutina de ejercicios sin importar el pie, situación consecuente con el resultado del análisis de varianza. La aplicación sistemática de estiramientos del grupo muscular tríceps sural combinados con facilitación neuromuscular propioceptiva, produjo un aumento importante del rango de movilidad articular del tobillo en dorsiflexión y plantiflexión, evidenciando una mejoría en la estabilidad estática y dinámica de los jóvenes futbolistas y una disminución de la ocurrencia de lesiones durante la intervención.

Palabras clave: Estiramiento. Dorsiflexión. Plantiflexión. Apoyo plantar.

Abstract

The back leg muscle group stretching routine causes big variation in the angular ankle motion and in the sole support on young soccer players. The purpose of this research is to evaluate the combined gastrocnemius stretching session effects on the dorsal flexion and sole motion and ankle joint as well as in the sole footprint characterization. During the research development a total of 17 soccer players aged between 12 and 13 were studied, this group trained two days a week for two hours each day, dedicating a quarter of the total time at the end of the session on stretching, during the previous and followed week a photographic measure was made using the Adobe Photoshop CS4 software. For observing the stretching effects on the sole support characterization of the dorsal and sole flexion in each feet was necessary to use a variation analysis method; as a result of this research was found that stretching routines increase the dorsal and sole flexion angle ($P < 0.05$) in both foot. There are not big differences relative to the sole support values pre and post stretching sessions. There is a correlation between the pre and post metatarsus value measurements training routine, this situation is consistent to the variation analysis outcomes obtained before. The systematic application of triceps soleus group muscular stretching sessions combined with proprioceptive neuromuscular facilitation PNF produced a very significant increasing on the ankle joint mobility in the dorsal and sole flexion, having as a result the young soccer players' dynamical and static improvement and the decrease of injuries during the training sessions.

Keywords: Stretching. Dorsal and sole flexion. Sole support.

Introducción

La realización de estiramientos bien prescrita ha demostrado ser una herramienta benéfica para la corrección de la postura y el apoyo, así como para mejorar las actividades dinámicas del sistema músculo-esquelético aumentando la flexibilidad y la amplitud del movimiento articular. Adicionalmente, la elaboración de un protocolo de entrenamiento que contenga estiramientos en algunas de sus fases, es un acto profiláctico que puede disminuir la ocurrencia de enfermedades y lesiones.

Algunos investigadores recomiendan los estiramientos de la musculatura de la pantorrilla para luchar contra el pie cavo hipertónico e inflexible (Sun 1995, Calleja 2007, Dueñas 2008, Desai 2010). Otros han trabajado aplicando medidas externas como diatermia, ultrasonido, TENS, masajes, etc. para incrementar la duración del estiramiento y el rango angular de la dorsiflexión de tobillo (Peres 2002, Aijaz 2007). En el presente trabajo se elige la realización de los estiramientos al final de la sesión convencional de entrenamiento, pensando en el favorecimiento de la perfusión tisular que conlleva la termogénesis muscular para estimular el aumento del ángulo articular de movimiento, basado en el principio de continuidad de la estimulación flexo-elástica para evitar la consolidación de las uniones intermoleculares de los tejidos con la intención de optimizar y mantener mayores rangos de movilidad articular (Moller, Ekstrand, Oberg y Gillquist, 1985).

Aunque la realización de estiramientos y el momento de su aplicación, son temas muy controvertidos, hay una marcada tendencia al estiramiento previo y final empezando con ejercicios de movilidad articular de los diferentes núcleos principales implicados en la actividad. La matriz de estiramientos utilizada en la intervención incluye ejercicios de movilidad articular de las diferentes articulaciones principales implicadas en la actividad del futbolista, seguidos de estiramientos activos, activos-asistidos y pasivos, combinados siempre con la estimulación propioceptiva. El futbolista debe estar atento a las sensaciones que experimenta durante la realización de los estiramientos, ya que una lectura consciente de la información percibida por propioceptores y exteroceptores es necesaria para que controle los movimientos y realice los ajustes corporales apropiados durante la ejecución (Rodríguez y Moreno, 1997).

En esta investigación se evalúa el efecto de los estiramientos del grupo muscular tríceps sural sobre el apoyo plantar y los movimientos de flexión dorsal y plantar de la articulación del tobillo en futbolistas de 12 y 13 años de la Escuela de Iniciación y Formación Deportiva del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid en 2010-2 y 2011-1.

Se hace un recorrido morfo-funcional de los elementos que participan en los movimientos de la articulación del tobillo y del segmento anatómico del pie, presentando las perspectivas kinesiológicas y cinemáticas en contraste y complementación con las perspectivas biomecánicas y cinéticas, tratando de ofrecer una aproximación a su versatilidad. Por tal razón, se presenta una discusión de las propiedades y leyes físicas que rigen el movimiento articular y la función de apoyo, de tal manera que sus aplicaciones en contexto sirvan para sustentar objetivamente la interpretación de los resultados de la investigación.

Desarrollo

La flexibilidad es la capacidad de deformación de un tejido cuando sobre él actúa una fuerza externa. La elasticidad hace referencia a la capacidad que tiene un tejido de recuperar la forma cuando sobre él deja de actuar la fuerza deformante. Se define como deformación elástica, aquella en la cual la fuerza externa no supera la resistencia del tejido, permitiéndole recuperar su forma una vez que deje de actuar. Se entiende por deformación plástica aquella en la cual la fuerza externa supera la resistencia del material y este se rompe, no pudiendo recuperar su forma original una vez ha cesado la fuerza. Es determinante la relación entre flexibilidad y elasticidad, ya que al realizar gestos articulares se pretende alcanzar deformaciones de los tejidos humanos que no atenten contra su integridad, aplicando fuerzas externas que no superen su resistencia, es decir, que no excedan sus límites de flexibilidad.

Otra consideración biomecánica importante se relaciona con la naturaleza de los cambios que ocurren en los valores de las diferentes dimensiones de los tejidos conectivos y/o musculares. Las cápsulas, tendones, ligamentos y huesos son tejidos anisotrópicos ya que la disposición unidireccional de sus fibras les permiten resistir mejor las fuerzas de tracción y compresión aplicadas en tal dirección, mientras resultan más vulnerables a las fuerzas aplicadas en direcciones oblicuas y/o perpendiculares. Los tendones actúan como cables de transmisión que permiten optimizar la fuerza muscular en una sola dirección, denominada ángulo de tensión muscular, el cual representa la relación espacial entre el eje mecánico de la palanca anatómica a movilizar y la línea de acción muscular que pasa por el punto de inserción siguiendo la orientación del tendón. Al aplicar fuerzas tensiles a músculos y tendones como estructuras conjuntas miotendinosas sometidas a estiramiento, ocurre una deformación en la que su longitud original aumenta a expensas de una disminución de su área de sección transversal, es decir, el tejido se elonga y adelgaza.

Según Warren (1971) cuando las fuerzas tensiles son aplicadas de modo continuo a un tejido conectivo organizado como el tendón, el tiempo requerido para estirar el tejido una cantidad específica varía inversamente a las fuerzas utilizadas. Además, un método de estiramiento a poca fuerza requiere más tiempo para producir la misma cantidad de alargamiento que si se aplicara una fuerza más elevada. De particular interés es que para la misma cantidad de alargamiento de tejido, un método de estiramiento de fuerza elevada produce más debilitamiento estructural que un método más lento y de menor fuerza.

El comportamiento mecánico de los tendones también depende de la temperatura a la cual se les apliquen cargas tensiles, ya que al aumentar la temperatura, aumenta la flexibilidad de los tendones. Warren (1971, 1976) demostraron que al estirar el tejido conectivo a temperaturas dentro de la amplitud terapéutica habitual (38 a 43°C), la cantidad de debilitamiento estructural producida por un determinado alargamiento de tejido varía inversamente con la temperatura. Teniendo en cuenta que durante la realización de ejercicio físico, no todo el calor corporal producido puede pasar al entorno por evaporación en forma de sudor como principal mecanismo de transferencia, la temperatura interna corporal se eleva variando en forma directa con la intensidad del ejercicio. Así, la temperatura corporal puede subir hasta los 41°C y la temperatura muscular hasta los 43°C en los deportistas competitivos mejorando la capacidad de rendimiento muscular. De esta forma, parece razonable que un aumento de temperatura dentro de los límites establecidos, aumentan las condiciones de fluidez viscosa de los tendones y músculos, de tal forma que la desestabilización térmica de los enlaces intermoleculares permita que el alargamiento se lleve a cabo con menor riesgo de lesiones estructurales. La elección que se ha hecho en este trabajo de aplicar los estiramientos después de realizar el entrenamiento convencional, obedece a este principio, con la intención de preservar la integridad tisular de los deportistas involucrados. Este fenómeno es compatible con un comportamiento lineal de los tejidos en una gráfica de Esfuerzo.

Deformación unitaria, garantizando un estiramiento dentro de la zona de seguridad denominada "zona elástica", donde la deformación es transitoria y el tejido recupera su forma y dimensiones originales una vez que dejan de actuar las fuerzas tensiles que produjeron la deformación. La Ley de Hooke nos da la expresión que permite interpretar matemáticamente este evento: $\sigma = k \cdot \epsilon$ donde $\sigma = F/A$ es el esfuerzo (fuerza tensil por unidad de superficie), $\epsilon = \Delta L/L_0$ es la deformación unitaria (deformación absoluta sobre longitud original) y k es la constante de proporcionalidad que se denomina módulo de elasticidad o módulo de Young. En

este trabajo, la deformación absoluta es la diferencia entre las longitudes final y original del músculo en el preciso momento de lograr un estiramiento.

Etimológicamente, según Jordi Porta, el término flexibilidad deriva del latín "bilix" que significa capacidad y "flectere" que significa curvar. Pareja (1995) analizando la flexibilidad como capacidad físico-motriz, expresa sus posibilidades de manifestación. Expone que es factible desarrollar la flexibilidad de una región corporal si se mejoran las posibilidades de movimiento articular (movilidad articular) y/o elongamiento (estiramiento) de los tejidos blandos adyacentes.

La movilidad articular es el movimiento que puede ser generado en las articulaciones diartrosis y, elongamiento o distensibilidad músculo-tendinosa es la capacidad que tienen estos tejidos para estirarse por la acción de una fuerza externa a ellos (la musculatura agonista, otra parte del cuerpo, el peso del cuerpo, la fuerza de la gravedad, un ayudante, un peso externo, etc.). Así que, los ejercicios de movilidad y estiramiento muscular, realizados por separado o conjuntamente, según la técnica metodológica que se emplee, se denominan genéricamente como "ejercicios de flexibilidad".

Existen varios criterios de clasificación de la flexibilidad en el campo de la motricidad humana, de los cuales Pareja cita los siguientes:

- A partir de las necesidades de su manifestación puede ser general o especial
- A partir de la forma de movimiento puede ser dinámica o estática
- A partir de la participación o no de la musculatura agonista en el ejercicio de flexibilidad puede ser activa o pasiva
- A partir del grado de expresión cuantitativa del movimiento puede expresar la cantidad de elongamiento muscular o la cantidad de desplazamiento angular de la articulación

Platonov (2001) distingue la flexibilidad activa, pasiva y también la movilidad anatómica. Según este autor, el término flexibilidad es más adecuado para valorar la movilidad general de las articulaciones de todo el cuerpo. Cuando se habla de una articulación en concreto, es más correcto hablar de su movilidad.

Según Alter (2004) algunas de las categorías más comunes de la flexibilidad son las siguientes: estática, balística, dinámica o funcional y activa, que puede ser estática o dinámica.

Donskoi y Zatsiorski (1988) distinguen la flexibilidad activa y la pasiva. En este trabajo asumimos la clasificación de Fetz (1976) a partir de criterios fisiológicos que permiten un uso metodológico para el proceso de su desarrollo en la práctica. Divide la flexibilidad en Dinámica y Estática, a su vez cada una de estas en activa y pasiva.

La flexibilidad dinámica es la ejercitación con movimientos repetitivos de impulsos, insistencias o rebotes. En la flexibilidad estática se mantiene estirado un grupo muscular en un rango de amplitud articular durante un tiempo determinado según la técnica empleada. En la flexibilidad activa la fuerza externa requerida para estirar un grupo muscular, es generada por el grupo muscular agonista del segmento articular que se moviliza. En la flexibilidad pasiva la fuerza requerida para estirar un grupo muscular, no es generada por el grupo muscular agonista, sino por otras causas como: otra parte corporal, peso del cuerpo, la gravedad, pesos adicionales, ayudantes o auxiliares, etc.

Este trabajo se basa en tales definiciones para la utilización de métodos dinámicos activos, métodos dinámicos pasivos, métodos estáticos activos y métodos estáticos pasivos.

Como el estiramiento muscular es una de las manifestaciones de la flexibilidad, es necesario hacer una clasificación de los estiramientos. Una muy apropiada es la planteada por Brad Walker (2010), quien los divide en estáticos y dinámicos. En el primer grupo, en el que los ejercicios se realizan sin movimiento del segmento corporal, alcanzando una posición de estiramiento y sosteniéndola por un lapso determinado, incluye estáticos, pasivos, activos, con FNP e isométricos. En el segundo grupo, en el que los ejercicios se realizan con movimiento del segmento corporal mediante balanceos o rebotes para aumentar su amplitud de movimiento y flexibilidad, incluye balísticos, dinámicos y aislados activos.

En el estiramiento estático, después de un estado de relajación inicial de los grupos musculares agonistas y antagonistas, se aumenta gradualmente (inhibiendo la estimulación del reflejo de estiramiento) la tensión del músculo o grupo muscular que se quiere estirar (grupo muscular objetivo) y se mantiene la posición durante 15 a 30 segundos (McAtee y Charland, 2009) para que estos músculos se alarguen. La práctica de este tipo de estiramientos ha demostrado ser muy segura y efectiva, razón por la que constituye una primera alternativa para neófitos, sedentarios y pacientes con enfermedades de base.

Se hace claridad en que, al realizar un gesto articular para generar un estiramiento, los músculos responsables de ejecutar el gesto activo, se denominan agonistas y, sus oponentes, se denominan antagonistas. Así, en un estiramiento, el músculo o grupo muscular objetivo, es antagonista del músculo o grupo muscular que en forma activa puede generar el gesto articular involucrado en el estiramiento. Esta denominación se conserva aunque el gesto articular se realice en forma pasiva por acción de fuerzas externas diferentes a la fuerza muscular del músculo o grupo muscular agonista. Por ejemplo, en un estiramiento del grupo muscular isquiotibial, el gesto articular implicado es la extensión de la rodilla, entonces se conviene que el cuádriceps femoral es el grupo muscular agonista y el isquiotibial es el grupo muscular antagonista.

En el estiramiento pasivo, participa una fuerza externa (un auxiliar, un aparato, una superficie, otro segmento corporal); el usuario se relaja y el auxiliar mueve el segmento corporal para conseguir en la articulación involucrada una mayor amplitud de movimiento (ADM). Deportes como la Gimnasia, donde la flexibilidad máxima es crucial para el rendimiento, se benefician mucho de este tipo de estiramiento. Así mismo, es útil cuando los estiramientos activos generan dolor y en programas de rehabilitación. Presenta la desventaja de conllevar un riesgo mayor de sufrir lesiones musculares por sobre-estiramiento, ya que quien los ejecuta no percibe las sensaciones de la persona sobre la cual se realizan. "El estiramiento pasivo requiere un entrenamiento adecuado y una buena comunicación entre el cliente y el auxiliar" (McAtee y Charland, 2009)

En el estiramiento activo, es el usuario quien estira sin requerir de una fuerza externa, solo requiere de la fuerza de los músculos opositores de los que se estiran. Aquí, el grupo muscular que se contrae ayuda a relajar los que se estiran, el usuario controla la fuerza y la duración del estiramiento, razón por la cual disminuye el riesgo de sobre-estiramiento y lesiones musculares. Es difícil mantener por tiempo prolongado este tipo de estiramiento, por lo que habitualmente su duración oscila entre 10 y 15 segundos. Es muy útil en rehabilitación y acondicionamiento antes de empezar con estiramientos de tipo dinámico.

Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

Fue considerada inicialmente como una técnica de rehabilitación desarrollada a mediados del siglo XX por el médico neurofisiólogo Herman Kabat y las fisioterapeutas Margaret Knott y Dorothy Voss, quienes aplicaron los principios del modelo de Charles Sherrington (1947) sobre la forma como opera el sistema neuromuscular. En 1952 demostraron que la FNP no era solo una forma de abordar el tratamiento de la parálisis, sino también una nueva forma de enfocar los movimientos funcionalmente y los ejercicios terapéuticos en la cotidianidad y en el deporte.

Si descomponemos el significado del FNP en sus tres palabras: facilitación como la acción de hacer más fácil o cómoda una situación o propósito, neuromuscular como lo que atañe conjuntamente al músculo y al nervio o nervios que terminan en él y, propioceptiva como relativa a la propiocepción o información sensitiva y continua que recibe el sistema nervioso central (SNC) sobre la posición de los segmentos corporales y el estado de contracción de los distintos músculos que participan en el movimiento; entonces la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva implica un aumento en el nivel de respuesta del sistema neuromuscular cuando son estimulados los propioceptores.

Los movimientos que se realizan en las diferentes actividades físicas y deportivas no obedecen a un comportamiento lineal, su desarrollo en varios planos y alrededor de varios ejes, evidencian comportamientos más complejos en patrones espirales-diagonales, que son coherentes con la arquitectura del sistema músculo-esquelético. "Son patrones de movimiento en masa, como varias combinaciones de movimientos que requieren reacciones de acortamiento y alargamiento de varios músculos en distintos grados" (Voss, Ionta y Myers, 1985).

En el estiramiento con FNP el músculo o grupo muscular que se ha de estirar, debe tensarse primero e iniciar una contracción isométrica que dure unos 5 a 6 segundos contra la resistencia generada por un auxiliar que trata de inhibir el movimiento. Luego se relaja el músculo y el auxiliar ejecuta un estiramiento controlado durante 30 segundos, después de esto siguen 30 segundos de recuperación y se repite el procedimiento unas tres veces. Este tipo de estiramiento es muy efectivo en rehabilitación y para mejorar la flexibilidad, la amplitud de movimiento y la fuerza de grupos musculares específicos. Más adelante se analizará con más detalle la FNP.

En el estiramiento isométrico se realiza un procedimiento similar al anterior pero se sostienen las contracciones por lapsos más prolongados, forzando los músculos que son objeto del estiramiento. Esta situación hace que el período de descanso necesario posterior a cada sesión sea de dos días y no es recomendable para personas que aún no han terminado su período de crecimiento.

En el estiramiento balístico, el cual puede hacerse en forma activa o pasiva, se utilizan movimientos rápidos de balanceo o rebote para forzar la elongación del músculo objetivo de manera que sobrepase la amplitud normal de movimiento. Es muy riesgoso porque puede producir un fuerte reflejo miotático que genera un acortamiento muscular mayor que en su estado inicial. La tensión excesiva sobre el músculo y los tendones como resultado del conflicto entre el estiramiento generado por la fuerza externa y, la fuerza interna de acortamiento generada por el reflejo de estiramiento, aumenta la probabilidad de desgarrar el músculo, razón por la cual este tipo de estiramiento ha caído en desuso.

En el estiramiento dinámico se utiliza un movimiento de balanceo controlado aumentando gradualmente la amplitud y la velocidad pero sin exceder el límite normal de la amplitud de movimiento de la articulación involucrada. En sentido estricto no hay rebote y el riesgo de lesión es mucho menor.

En el estiramiento activo aislado (EAA) se aísla el músculo que se va a estirar, se contrae el grupo muscular opuesto, luego se realiza un estiramiento rápido pero suave del grupo muscular objetivo, se mantiene la posición por dos segundos y luego se retorna el miembro a la posición inicial, se repite la secuencia entre 8 y 10 veces (Mattes, 2000). Como se puede apreciar, este procedimiento se basa en movimientos activos e inhibición recíproca, pero no trabajo isométrico, para alcanzar una mayor flexibilidad. El hecho de prevenir la estimulación del reflejo de estiramiento, mientras se activa la inhibición recíproca, permite al músculo objetivo elongarse con mayor facilidad.

Particularmente, interesa la ejercitación de la flexibilidad de la articulación de tobillo (tibio-peroneo-astragalina), la cual posee una estructura con gran congruencia geométrica que le caracteriza como una de las más estables en nuestro cuerpo, brindando un soporte fundamental en el mantenimiento de la bóveda plantar y permitiendo en acción sinérgica con las articulaciones subastragalina y de Chopart, una excursión angular funcional de los movimientos del pie, principalmente los movimientos de dorsiflexión y plantiflexión.

La matriz de estiramientos utilizada en la intervención incluye ejercicios de movilidad articular de las diferentes articulaciones principales implicadas en la actividad del futbolista, seguidos de estiramientos activos, activos-asistidos y pasivos, combinados siempre con la estimulación propioceptiva. El futbolista debe estar atento a las sensaciones que experimenta durante la realización de los estiramientos, ya que una lectura consciente de la información percibida por propioceptores y exteroceptores es necesaria para que controle los movimientos y realice los ajustes corporales apropiados durante la ejecución (Rodríguez y Moreno, 1997).

Métodos

Se trabajó inicialmente una población de 33 futbolistas pertenecientes a la categoría de 12 y 13 años de la Escuela de Iniciación y Formación Deportiva del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia. Al aplicar los criterios de inclusión, la muestra se redujo a 17 sujetos. Previo al ensayo se obtuvo por parte de los padres la firma del consentimiento informado.

Se implementó una rutina de estiramientos con una duración aproximada de 30 minutos posterior a 18 sesiones de 1 hora y 30 minutos del entrenamiento convencional. De manera que la intervención duró 9 semanas. En la semana previa al inicio de los estiramientos, se realizaron mediciones angulares en el software Adobe Photoshop CS4 y mediciones pedigráficas en el software Kiroscan V 1.3 a todos los sujetos:

1. Fotografías de cada pie en dorsiflexión activa con el sujeto en posición de decúbito supino.
2. Fotografías de cada pie en plantiflexión activa con el sujeto en posición de decúbito supino.
3. Pedigráficas (evaluación del apoyo plantar). La valoración del apoyo se basó en la clasificación de Hernández Corvo (1991).

En la semana inmediatamente posterior a la finalización de los estiramientos se repitieron las tres mediciones.

Se empleó el software estadístico *Statgraphics Centurion XV* para analizar los datos de goniometría y pedigrafía, posteriormente se determinó el cambio en las variables evaluadas frente a la aplicación de los estiramientos en ambos miembros inferiores.

La base de datos generada, constituyó una muestra de 17 individuos en los cuales se evaluaron las diferencias antes y después de aplicados los estiramientos, para el pie izquierdo y para el pie derecho. Se analizaron los ángulos de plantiflexión, dorsiflexión, apoyo plantar medido en porcentaje y las medidas del metatarso y de la impresión del borde externo o tarso-metatarsal.

Dorsiflexión

El sujeto en posición de decúbito supino (acostado boca arriba) dirige el dorso del pie hacia la cara anterior de la pierna. Se hizo una señalización de los puntos de referencia articular de los segmentos anatómicos con marcadores reflectivos que permitieron trazar en el software los ejes mecánicos correspondientes para la medición de los ángulos. Se solicitó al sujeto hacer una contracción activa de los músculos anteriores de la pierna para conseguir una dorsiflexión. Se midió el ángulo desde la posición vertical del eje del pie (cuando forma un ángulo de 90° con el eje de la pierna) hasta su posición de mayor proximidad a la pierna. Es importante tener en cuenta que la tendencia natural de las personas es a tener el pie en cierto grado de plantiflexión, pero esta no es la posición de referencia para medir el ángulo de dorsiflexión.

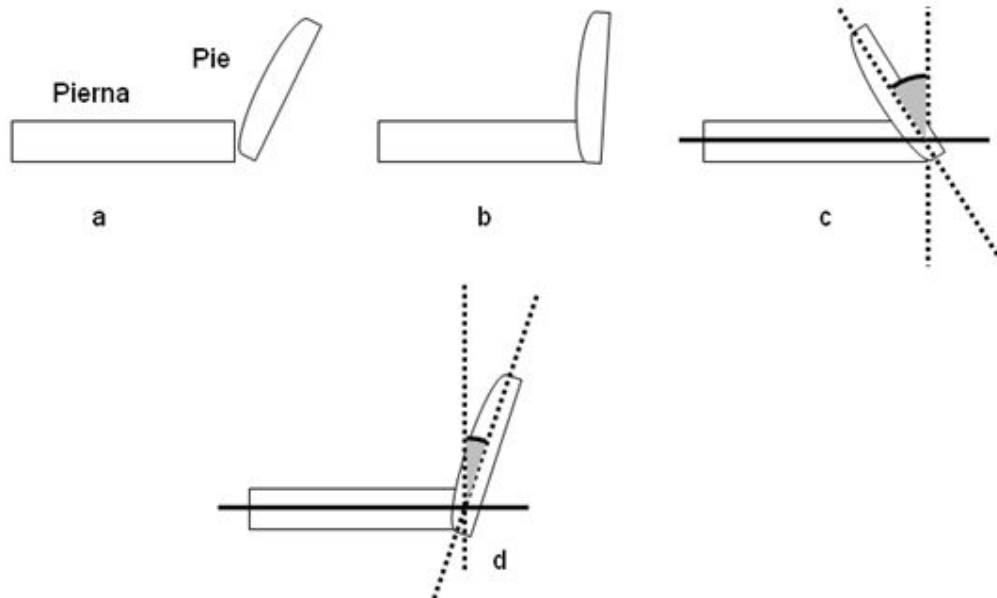


Figura 1. Elementos considerados en el análisis del ángulo de dorsiflexión. Posición inicial (a); posición de referencia para la medición (b); posición de dorsiflexión activa completa del sujeto y ángulo de dorsiflexión positivo (c); algunas personas no superan la posición de referencia y presentan un ángulo de dorsiflexión valorado como negativo (d).

Plantiflexión

El sujeto en posición de decúbito supino aleja el dorso del pie de la cara anterior de la pierna. Se hizo una señalización de los puntos de referencia articular de los segmentos anatómicos con marcadores reflectivos que permitieron trazar en el software los ejes mecánicos correspondientes para la medición de los ángulos. Se solicitó al sujeto hacer una contracción activa de los músculos posteriores de la pierna para conseguir una plantiflexión. Se midió el ángulo desde la posición vertical del eje del pie (cuando forma un ángulo de 90° con el eje de la pierna) hasta su posición activa de mayor lejanía de la cara anterior de la pierna. Es importante tener en cuenta que la tendencia natural de las personas es a tener el pie en cierto grado de plantiflexión, pero esta no es la posición de referencia para medir el ángulo de plantiflexión.

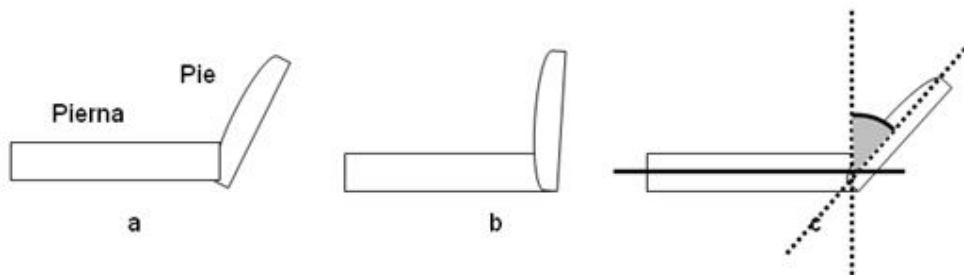


Figura 2. Elementos considerados para el análisis del ángulo de Plantiflexión. Posición inicial (a); posición de referencia para la medición (b); posición de plantiflexión completa del sujeto (c)

Apoyo plantar

Se realizó una valoración del apoyo plantar mediante la pedigrafía digital, por medio de un software diseñado por PEDIORTESIS - DEPORMED, llamado Kiroscan V1.3 basado en la fórmula de caracterización de HERZCO (Hernández Corvo 1991), para determinar tipos de arco y orientación del apoyo, lo que le permite al usuario conocer el zapato ideal que debe utilizar de acuerdo a su tipología de pie, tipo de plantilla correctiva si la necesita y los ejercicios físicos e intensidad que puede practicar según a el diagnostico encontrado, complementado por una anamnesis y examen físico del paciente que incluye aspectos específicos del pie, tales como hallazgos clínicos, evaluación de los arcos de movilidad, puntos de dolor, zonas hiperqueratósicas, entre otros. El examen arroja resultados con los cuales se puede hacer un diagnostico específico de la pisada, en el que se determina la medida de cada pie, tipo de apoyo especificando si hay o no alteración de este y, finalmente la tipificación del pie.

Para el análisis del apoyo plantar (%X) el software utiliza la fórmula de Hernández Corvo (1991):

$$\%X = \frac{X - Y}{X} \cdot 100$$

Donde X representa el ancho (cm) metatarsal e Y representa el ancho (cm) de la impresión externa correspondiente a la relación tarso-metatarsal.

La valoración de Hernández (1991) es discontinua, ya que no se incluyen cifras entre el extremo superior de un intervalo y el extremo inferior del siguiente, por tanto, se realizó un ajuste a los intervalos a fin de incluir todos los valores posibles, tal como aparece en la Tabla 1:

Tabla 1. Valoración apoyo plantar. Modificado de Hernández (1991)

	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio del error	F-calculado	Valor P
Apoyo plantar (%X)	A: Momento	594,132	1	594,132	0,05	0,8157
	B: Pie	0,353088	1	0,353088	0	0,9547
	Residuales	7050,5	65	108,469		
	Total	7056,8	67			
	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio del error	F-calculado	Valor P
Apoyo plantar (%Xd)	A: Momento	0,805294	1	0,805294	0,01	0,9198
	B: Pie	289,906	1	289,906	0,37	0,5465
	Residuales	5127,26	65	788,809		
	Total	5157,05	67			

En ambos pies se hicieron las pedigráficas antes y después de la intervención, con el software se obtuvieron las mediciones de los valores X e Y. posteriormente se realizaron análisis de varianza para analizar la influencia de los estiramientos en los valores de apoyo plantar. Adicionalmente se construyeron matrices de correlación para evaluar la relación existente entre el ancho del metatarso en el pie (X) y la impresión externa correspondiente a la relación tarso-metatarsal (Y), antes y después de aplicados los estiramientos.

Resultados

Movimiento angular del tobillo

Se encontró que en la mayoría de los individuos evaluados el estiramiento genera un aumento en el rango angular de dorsiflexión y plantiflexión para ambos tobillos.

Antes de efectuar el análisis de varianza se probó la normalidad de las muestras empleando el test de Shapiro-Wilk. Se concluye con un nivel de confianza del 95% que sin importar el tobillo considerado, sea izquierdo o derecho, esta situación no influye en los ángulos de plantiflexión y dorsiflexión generados, ya que $P > 0,05$. Pero el momento (Antes: Preestiramiento y Después: Postestiramiento) influye en los ángulos de plantiflexión y dorsiflexión generados, pues $P < 0,05$. Es decir, los ángulos de plantiflexión y dorsiflexión cambian después de aplicar los estiramientos. (Tabla 2)

Tabla 2. Análisis de varianza para evaluar los efectos de Plantiflexión y Dorsiflexión

	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio del error	F- calculado	Valor P
Plantiflexión	A: Momento	298,783	1	298,783	5,96	0,0174
	B: Tobillo	8,22501	1	8,22501	0,16	0,6868
	Residuales	3208,07	64	50,1261		
	Total	3513,64	66			
Dorsiflexión	A: Momento	510,316	1	510,316	5,46	0,0225
	B: Tobillo	17,6514	1	17,6514	0,19	0,6652
	Residuales	5976,3	64	93,3797		
	Total	6501,51	66			

Por otra parte, empleando estadísticos básicos de media y desviación, se encontró que los ángulos de plantiflexión variaron de manera notable después de los ejercicios de estiramiento. En este sentido se concluye que la media del ángulo de plantiflexión aumenta después de los estiramientos, ya que pasa de 49,432 a 55,023, consecuentemente la desviación estándar disminuye de 10,205 a 8,817 por el efecto del estiramiento. El comportamiento de la desviación estándar permite afirmar que el estiramiento tiende a estandarizar el ángulo de plantiflexión haciendo más homogéneo su valor numérico extremo en los diferentes deportistas evaluados. Resultados similares arrojan las medias de dorsiflexión pasando de -0,961 antes del estiramiento a 3,044 después del estiramiento. También la desviación estándar disminuye como en dorsiflexión, pasa de 8,430 a 5,277. En este sentido podemos afirmar que los estiramientos influyen significativamente en la capacidad angular de los deportistas.

Apoyo plantar

El análisis de varianza se realizó inicialmente con los porcentajes %X, antes y después para ambos pies, luego se empleó %X d: valor absoluto de la distancia entre el valor de la fórmula y el límite porcentual de normalidad más cercano, antes y después para ambos pies.

Se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medidas del apoyo plantar antes y después del estiramiento, ya que el valor $P=0,8157 > 0,05$. El pie tampoco influye en la medida del %X ($P=0,9547 > 0,05$). El mismo análisis se realizó empleando %X d, no se encontraron diferencias significativas, ni con el momento ($P=0,9198 > 0,05$), ni con el pie ($P=0,5465 > 0,05$) (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para evaluar los efectos sobre el apoyo plantar

	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio del error	F-calculado	Valor P
Apoyo plantar (%X)	A: Momento	594,132	1	594,132	0,05	0,8157
	B: Pie	0,353088	1	0,353088	0	0,9547
	Residuales	7050,5	65	108,469		
	Total	7056,8	67			
	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio del error	F-calculado	Valor P
Apoyo plantar (%Xd)	A: Momento	0,805294	1	0,805294	0,01	0,9198
	B: Pie	289,906	1	289,906	0,37	0,5465
	Residuales	5127,26	65	788,809		
	Total	5157,05	67			

Análisis de las medidas metatarsal y borde externo (tarso-metatarsal)

Después de probar normalidad y realizar el ANOVA se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas para el ancho del metatarso antes del estiramiento y después del estiramiento, ya que el valor $P = 0,4405 > 0,05$. El pie tampoco influye en la medida de X ($P = 0,6435 > 0,05$). El mismo análisis se realizó empleando la relación tarso-metatarsal, pero no se encontraron diferencias significativas, ni con el momento ($P = 0,9511 > 0,05$), ni con el pie ($P = 0,9142 > 0,05$).

Con el análisis de correlación se encontró que existe correlación entre los valores metatarsal antes y después, sin importar el pie, eso es consecuente con el resultado del análisis de varianza, el cual indica que los datos provienen de la misma población. Lo mismo ocurre para la relación tarso-metatarsal (Tabla 10). Este análisis permite evaluar la fortaleza de la relación existente entre el ancho del metatarso en el pie (X) y la impresión externa correspondiente a la relación tarso-metatarsal (Y). Nótese como los niveles de correlación entre ambas variables son bajos indicando independencia en el comportamiento de las mismas (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de correlación entre el ancho del metatarso en el pie (X) y la impresión externa correspondiente a la relación tarso-metatarsal (Y)

	Xiant	Xides	Xdant	Xddes	Yiant	Yides	Ydant	Yddes
Xiant		0,95*	0,88*	0,90*	0,08	0,36	-0,02	0,34
Xides	0,95*		0,77*	0,89*	0,11	0,41	0,13	0,39
Xdant	0,88*	0,77*		0,85*	-0,05	0,24	-0,15	0,18
Xddes	0,90*	0,89*	0,85*		-0,16	0,20	-0,13	0,25
Yiant	0,08	0,11	-0,05	-0,16		0,53*	0,61*	0,19
Yides	0,36	0,41	0,24	0,20	0,53*		0,78*	0,63*
Ydant	-0,02	0,13	-0,15	-0,13	0,61*	0,78*		0,52*
Yddes	0,34	0,39	0,18	0,25	0,19	0,63	0,52*	

*Significativo al 95%

Se encontró que existe correlación entre los valores Metatarsal antes y después, sin importar el pie, eso es consecuente con el resultado del análisis de varianza, el cual indica que los datos provienen de la misma población. Lo mismo ocurre para la relación tarso-metatarsal (Tabla 4).

Conclusiones

La aplicación sistemática de estiramientos combinados del grupo muscular tríceps sural, produjo un aumento importante del rango de movilidad articular del tobillo en dorsiflexión y plantiflexión, evidenciando una mejoría en la estabilidad estática y dinámica de los jóvenes futbolistas.

La aplicación sistemática de estiramientos combinados del grupo muscular tríceps sural, no produjo cambios importantes de la caracterización del apoyo plantar de los futbolistas, pero se observó mejoría en la función del apoyo plantar, la propulsión, la velocidad de carrera y la estado-dinámica de los jóvenes futbolistas. Estas variables no fueron cuantificadas rigurosamente, son el resultado de las observaciones permanentes de los entrenadores y de los investigadores durante todo el proceso de trabajo de campo.

La flexibilidad articular de ambos tobillos mejoró notoriamente al estimular sus dos componentes. Por un lado, el elongamiento muscular de gastrocóleos que permitió el incremento de sus propiedades viscoelásticas y, por otro, la movilidad articular manifestada en el aumento significativo del rango angular de flexo-extensión de la articulación tibio-peroneo-astragalina en el plano sagital.

La aplicación de la técnica de facilitación neuromuscular propioceptiva mediante contracciones isométricas previas a los estiramientos, permitió obtener un aumento rápido de la ganancia en los rangos de movilidad articular del tobillo, ya que la aplicación inicial de solo estiramientos en las primeras sesiones produjo un aumento discreto de la amplitud articular.

Los estiramientos implementados en estos jóvenes futbolistas de 12 y 13 años, en los que el desarrollo óseo es previo al desarrollo muscular, permitieron atenuar la incongruencia físico-biológica de incoordinación motora, laxitud del tono muscular y fatigabilidad temprana, características encontradas en el 70% de la población antes de la intervención y, que se redujo al 30% al finalizar el trabajo de campo.

La ausencia de lesiones en los futbolistas durante la intervención con estiramientos combinados, en comparación con dos lesiones habituales por mes reportadas en la Escuela con la práctica del entrenamiento convencional sin componente formal de estiramientos, hace pensar en un papel protector de estos ayudando a evitar que fuerzas externas excedan la resistencia de los tejidos y favoreciendo que se mantengan en la zona elástica bajo la curva de esfuerzo versus deformación unitaria, garantizando su integridad.

Bibliografía

- Alter, M. (2004) *Science of Flexibility* (Third edition) Champaign, Human KInetics.
- Bulatova, M. y Platonov, V. (2001) *Preparación física* (4ª ed) La Cartoné, Paidotribo.
- Cáceres, Z. (2005) *Efecto de un programa de actividad física sobre la bóveda plantar en los niños y niñas de los seis a los ocho años de edad que presentan pie plano y alteraciones posturales asociadas*. Pamplona, Norte de Santander.
- Desai, S. y Cols (2010) The Cavus Foot in Athletes, Fundamentals of Examination and Treatment. *Operative Techniques in Sports Medicine*. Vol 18, 19-23pp.
- Donskoi, D. y Zatsiorski, V (1988) *Biomecánica de los ejercicios físicos*. La Habana, Pueblo y Educación.

- Hou, S. y Cols. (1995) *Biomechanical properties of the triceps surae muscle after limb lengthening*. Vol 10, 263-267pp
- Hernández Corvo, R. (1991) *Morfología funcional deportiva, función de apoyo*. La Habana, INDER, Cuba.
- McAtee, R. y Charland, J. (2010) *Estiramientos facilitados, estiramientos y fortalecimiento con facilitación neuromuscular propioceptiva* (3ª ed.) Madrid, Médica Panamericana, S.A.
- Pareja, L. (1995) La flexibilidad como capacidad físicomotriz. En: *Revista Educación Física y Deporte*, Universidad de Antioquia. Vol. 17, Nº 1, 13-30pp.
- Peres, S. y Cols. (2002) Pulsed shortwave diathermy and prolonged long-duration stretching increase dorsiflexion range of motion more than identical stretching without diathermy. *Journal of Athletic Training*, Jan-Mar, 37 (1), 43-50pp
- Rodríguez, P. y Moreno, J. (1997) Justificación de la continuidad en el trabajo de estiramiento muscular para la consecución de mejoras en los índices de amplitud articular. *Apuntes. Educación Física y Deportes*, (48), 54-61pp.
- Sun, J. y Cols. (1995) Biomechanical properties of the triceps surae muscle after limb lengthening. *ClinBiomech* (Bristol, Avon), 10, 263-267pp.
- Walker, B. (2010) *Anatomía y estiramientos, Guía de estiramientos, descripción anatómica*. Barcelona, Paidotribo.
- Warren, C. y Cols. (1971) Elongation of rat tail tendon, Effect of load and temperatura. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 465-474pp.
- Warren, C. y Cols. (1976) Heat and stretch procedures, An evaluation using rat tail tendon. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 122-126pp.
- Wadsworth, A. (2011) *Entrenador personal, Silueta – Resistencia – Energía*. Libsa, México.
- Zatsiorski, V. (1989) *Metrología deportiva*. Moscú, Planeta.

Lecturas: *Educación Física y Deportes, Revista Digital*. Buenos Aires, Año 16, Nº 165, Febrero de 2012. <http://www.efdeportes.com/efd165/estiramientos-del-triceps-sural-en-futbolistas.htm>