

## **ALTERACIONES DEL CONTROL MOTOR EN MIEMBRO INFERIOR EN FEMINAS ADOLESCENTES: ROL DEL ENTRENAMIENTO NEUROMUSCULAR PREVENTIVO**

**PUBLICACIÓN ORIGINAL:** Alteraciones del control motor en miembro inferior en féminas adolescentes: Rol del entrenamiento neuromuscular preventivo. En: CEVALLOS LUGO, Diana del Pilar y MOLINA RESTREPO, Nery Cecilia. Educación corporal y salud: Gestación, infancia y adolescencia. Medellín (Colombia): Funámbulos Editores. 2007

**GÓMEZ RODAS, Alejandro**

Especialista en Actividad Física y Salud U.de.A

Profesional en Ciencias del Deporte y la Recreación U.T.P

Docente Universidad Tecnológica de Pereira: Programa Ciencias del Deporte y la Recreación

Director Programa de Ejercicio y Salud - Unidad de Promoción y Prevención Coomeva Medicina Prepagada, Pereira, Risaralda

### **ABSTRACT**

The current massive concurrence of girls in sport activities, exercise and physical conditioning, it has been accompanied by a growing increase of knee injuries, especially, rupture of the anterior cruciate ligament and patellofemoral pain syndrome. Environmental, anatomical, hormonal and neuromuscular risk factors have been proposed like explanation to this phenomenon. This article, will be focus on the main characteristics and mechanisms of action of the neuromuscular risk factors due to the possible modification of them from the point of view of training, proposing action lines that allow structure design programs of training guided to diminish the appearance of these girls lesions.

### **RESUMEN**

La concurrencia masiva actual de féminas adolescentes en actividades deportivas, ejercicio y acondicionamiento físico, se ha acompañado de un aumento creciente de lesiones de rodilla, en especial, ruptura del ligamento cruzado anterior y síndrome de dolor patelofemoral. Se han propuesto factores de riesgo ambientales, anatómicos, hormonales y neuromusculares como explicación a este fenómeno. El presente artículo, se enfocará especialmente en las principales características y mecanismos de acción de los factores de riesgo neuromusculares debido a las posibilidades de modificación que presentan desde el punto de vista del entrenamiento, proponiendo líneas de acción que permitan el diseño estructurado de programas de entrenamiento orientados a disminuir la aparición de estas lesiones en las féminas adolescentes.

La participación de mujeres en deportes de conjunto, deportes de contacto, individuales, buscando salud, o simplemente como una opción estética, se ha convertido en los últimos años en una manifestación masiva que ha llevado al crecimiento notorio de un alto porcentaje de la población femenina a involucrarse en actividades lúdico-recreo-deportivas y de acondicionamiento físico. Lamentablemente, este auge por el deporte, la actividad física y el

ejercicio en las mujeres, se ha visto acompañado por un incremento, a su vez, de las tasas de lesión de rodilla, especialmente, lesiones de ligamento cruzado anterior y dolor patelofemoral. (Hutchinson & Ireland, 1995) (Arendt, Agel & Randall, 1999)

Tanto las lesiones por ruptura del ligamento cruzado anterior como los dolores patelofemorales cobran especial importancia por las implicaciones quirúrgicas y tratamientos terapéuticos que conllevan, produciendo incapacidades prolongadas, pérdida de entrenamientos y participaciones deportivas, abandono del deporte o el ejercicio, sin mencionar, los altos costos que producen a los sistemas de salud. (Flynn et al, 2005) (Tumia & Mafulli, 2002)

Se ha reportado especialmente un aumento notorio, muy por encima del reportado en hombres, de lesiones de rodilla en mujeres deportistas adolescentes (Powell & Barber-Foss, 2000). Este hecho se ha corroborado a través de estudios epidemiológicos longitudinales (Arendt et al, 1999), generando preocupación e interés científico en la comprensión de este fenómeno dada la complejidad y duración del tratamiento puesto que, generalmente, la lesión más recurrente involucra el ligamento cruzado anterior. Varios factores de riesgo se han propuesto y asociado con la aparición de este tipo de lesión, la cual involucra un mecanismo de no contacto en su aparición (Ireland, 2000). El propósito de este artículo es explicar y detallar estos factores, en especial, aquellas alteraciones biomecánicas y neuromusculares asociadas a este tipo de lesión tan recurrente en féminas adolescentes.

## **FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LAS LESIONES DE RODILLA EN FÉMINAS ADOLESCENTES**

Se han propuesto varios factores de riesgo asociados con la aparición de lesiones de rodilla en féminas adolescentes. Para su estudio, se han sugerido dos esquemas de clasificación diferentes, uno basado en el presupuesto de la existencia de factores de riesgo que se encuentran fuera del cuerpo o dentro de él, denominados en su orden, extrínsecos e intrínsecos y otro que divide los factores de riesgo en cuatro categorías: Ambientales, anatómicos, hormonales y neuromusculares (Griffin et al, 2006). Para el propósito y desarrollo específico de este documento, se acoge la segunda clasificación, dado el énfasis específico que se realizará en los factores de riesgo neuromusculares.

De acuerdo a esta segunda clasificación, **los factores de riesgo ambientales** se refieren a aquellas condiciones de calzado, superficie de juego y condiciones atmosféricas que pueden poner en riesgo, en determinado momento la función de la rodilla (Boden, Griffin & Garret, 2000). Igualmente, se tiene en cuenta como factor ambiental protector el portar rodilleras con el fin de mejorar la estabilidad de la rodilla, sin que hasta el momento se tengan resultados contundentes (Najibi & Albright, 2005).

Por su parte, **los factores de riesgo anatómicos** hacen alusión a aquellas características de alineación y estructura del miembro inferior que interactúan con la función dinámica del miembro inferior provocando una disminución en la estabilidad y deficiencia en función del mismo (Hewett, Myer & Ford, 2006). Entre ellos se cuentan:

*El ángulo Q o ángulo del Cuádriceps* que representa el vector de tracción de éste músculo con respecto a la tibia a través de la inserción del tendón patelar, el cual, al estar más pronunciado en las mujeres puede provocar una alteración en la cinemática tibiofemoral y patelofemoral. (Mizuno et al, 2001)

*El valgo de rodilla estático y dinámico* que provoca un malalineamiento y distribución alterada de las líneas de carga en el miembro inferior. (Hewett et al, 2005)

*La hiperpronación del pie* que altera la dinámica de funcionamiento de la articulación subtalar produciendo una rotación inadecuada de la tibia que resulta en una transmisión anormal de fuerzas a las cadenas cinéticas superiores. (Bonci, 1999)

*El recurvatum de rodilla* es considerado también un factor importante en la postura estática para lesión del cruzado anterior ya que tiene un efecto de precarga en el ligamento en mención, incrementando su tensión en las actividades dinámicas. (Loudon, Jenkins & Loudon, 1996)

*La anteversión femoral*, caracterizada por una rotación femoral interna excesiva, produce cambios compensatorios en la rotación de la extremidad inferior, predisponiendo a alteraciones en la función mecánica de la rodilla. (Loudon et al, 1996)

*La posición pélvica* en anteversión también se ha relacionado significativamente con la incidencia de lesión del ligamento cruzado anterior, pues la flexión de la pelvis es compensada con una hiperextensión de rodilla. (Loudon et al, 1996)

*Deformidades en la torsión tibial* medidas con el ángulo pie-pierna, están también asociadas a lesiones de rodilla. (Tillman et al, 2005)

Finalmente, *el tamaño de la escotadura intercondílea, la geometría y el tamaño del ligamento cruzado anterior* también se ha relacionado con el incremento de lesión de este ligamento en las mujeres. (Harmon & Ireland, 2000)

Todos estos elementos también se han encontrado y relacionado con el síndrome de dolor patelofemoral (Earl, Hertel & Denegar, 2005), indicando una estrecha relación entre las anomalías anatómicas y las dos lesiones de rodilla más frecuentes en mujeres.

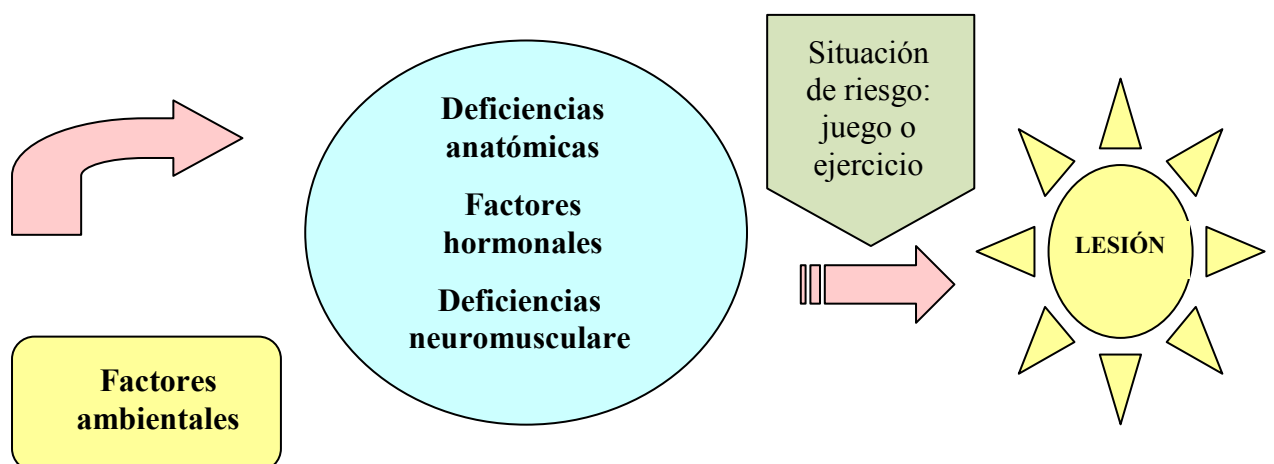
Ahora bien, **Los factores de riesgo hormonales**, han estado siempre presentes como factor inherente a las condiciones propias femeninas para lesionarse la articulación de la rodilla dadas las propiedades de los estrógenos para modificar la laxitud ligamentaria (Liu et al, 1997). Al parecer, las variaciones en los niveles de hormonas femeninas a través del ciclo menstrual pueden traer algún tipo de susceptibilidad para la lesión de rodilla en mujeres deportistas produciendo cambios cíclicos en la laxitud ligamentaria, llegándose a proponer la existencia de una predisposición de lesión en determinados días del ciclo menstrual (Hewett, Zazulak & Myer, 2007), en los cuales las mujeres deben ser especialmente protegidas ante la inminencia de lesión.

Por último, se encuentran **los factores de riesgo neuromusculares, especialmente en féminas adolescentes**, sobre los cuales se hará principal énfasis en esta revisión, consistentes en patrones alterados de movimiento, inadecuadas alteraciones musculares e inapropiadas respuestas de rigidez y estabilización articular por parte de la musculatura que rodea la articulación de la rodilla. (Griffin et al, 2006)

A continuación, se presenta un esquema que explica de manera gráfica la relación entre factores de riesgo ambientales, anatómicos, hormonales y neuromusculares con la aparición de lesión de rodilla en féminas adolescentes. Es de especial importancia notar que la susceptibilidad de una mujer a lesiones de rodilla no solamente se da por sus características propias sino por la interacción de varios factores que, en conjunción, producen la aparición de una lesión súbita.

Por tanto, los factores anatómicos, hormonales y neuromusculares, considerados intrínsecos, al conjugarse con situaciones ambientales y de juego, pueden atentar y provocar finalmente una lesión de rodilla, lo que ha provocado un gran auge investigativo por dilucidar si estas condiciones pueden llegar a ser modificadas en parte a través de diversos tipos de intervención.

Figura 1. Relación entre factores riesgo y lesión de rodilla en féminas adolescentes.



Ahora bien, los factores anatómicos, por su naturaleza, son invariables a no ser que se realicen intervenciones quirúrgicas para tratar de compensarlos, los factores hormonales también son inalterables si no se manipulan hormonas o se modifican días de juego o entrenamiento. Por tanto, los factores neuromusculares, los cuales pueden afectar directamente el funcionamiento biomecánico corporal son los que han estado bajo la lupa de las últimas investigaciones en el mundo.

Antes de abordar estas propuestas de intervención, se debe ampliar el panorama con respecto a las particularidades y características de estos factores de riesgo.

## **FACTORES DE RIESGO NEUROMUSCULARES**

Como ya se ha mencionado anteriormente, los factores de riesgo neuromusculares se agrupan tradicionalmente en tres grandes grupos: aquellos relacionados con patrones de movimiento alterados, patrones de activación muscular alterados e inadecuada rigidez o estabilidad articular proporcionada por los músculos que rodean la articulación de la rodilla. (Griffin et al, 2006)

Los ***patrones alterados de movimiento*** que se producen en la mujer que realiza ejercicio o deporte están directamente relacionados con aquellas características anatómicas que se observan en reposo y que simplemente se observan ante el aumento de la carga por el movimiento propiamente dicho. Especialmente, se han observado durante acciones deportivas que incluyen saltos, cambios de movimiento repentinos y acciones contra gravedad que necesitan la estabilización inmediata articular. (Chappell, Kirkendall & Garret, 2002) (Olsen et al, 2004)

En estas circunstancias las adolescentes exhiben, en comparación con los hombres, menor flexión de rodilla y cadera, valgo de rodilla incrementado, aumento de la rotación femoral interna e incremento de la rotación externa de la tibia (Ford et al, 2003). Todos estos factores conducen a un malalineamiento de la extremidad inferior, que junto a unos niveles de carga dinámica mayores, llevan al colapso de la articulación o a un aumento de estrés en ligamentos y estructuras articulares que terminan en lesión parcial o total de las mismas.

Recientemente, Timothy C. Sell y colaboradores (2006), realizaron una investigación que buscaba dilucidar si estos mecanismos estaban presentes o eran diferentes en situaciones que simulaban los mecanismos de lesión del ligamento cruzado anterior en condiciones inesperadas o esperadas por los sujetos de investigación. Se ha hipotetizado que bajo condiciones esperadas o de preplan motor, el comportamiento de estas características antes mencionadas, es diferente a la conducta del miembro inferior bajo situaciones inesperadas o reactivas (Besier et al, 2001). De acuerdo a los resultados de Sell y colaboradores, se pudo constatar que la dirección del salto influye en el

comportamiento biomecánico de la rodilla, sugiriendo que los saltos laterales son las tareas motoras más riesgosas y peligrosas de todas aquellas que involucran una parada repentina seguida por un salto. Igualmente, se pudo verificar que el comportamiento del miembro inferior es notablemente diferente frente a tareas inesperadas que ante tareas esperadas, mostrando que ante las primeras, se produce menor flexión de rodilla al momento de contacto con el piso, se generan mayores fuerzas de desaceleración, mayores momentos de fuerza en flexión y momentos valgo de rodilla. Todas estas características incrementan el riesgo de lesión de rodilla y pueden culminar en lesión, especialmente en las mujeres, pues éstas mostraron estas características de manera más acentuadas que los hombres.

Así las cosas, al momento investigativo actual, se siguen evidenciando particularidades biomecánicas propias de las mujeres, especialmente adolescentes, que pueden provocar el colapso irreversible articular ante una situación de riesgo en actividades de salto, cambios de dirección y pivotes a rápida velocidad.

Este hecho no se puede en ningún momento desligar del comportamiento neuromuscular de las féminas puesto que las deficiencias en la activación muscular, el tiempo de generación de fuerza, la producción máxima de la misma y la rigidez que pueda aportar el sistema muscular, están directamente relacionados con el comportamiento biomecánico de la extremidad inferior.

Por tal razón, y en este mismo orden, los **patrones de activación muscular**, también han sido de particular interés investigativo. A continuación se realizará una descripción de cada uno de ellos:

***Menor capacidad para producir fuerza:***

Se ha observado consistentemente en trabajos investigativos que las mujeres tienen menor desarrollo de fuerza y menos potencia muscular que los hombres. Esta diferencia entre hombres y mujeres no puede ser explicada solamente por diferencias sexuales sino por la preparación deportiva misma en su volumen e intensidad (Hakkinen, 1991). Estas diferencias son estables a través del ciclo vital (Mehrsheed et al, 2001) y explican de manera especial la propia debilidad de las mujeres para poder estabilizar su miembro inferior ante situaciones de estrés como saltos y situaciones de pivotes y giros.

***Contracción dominante del cuádriceps:***

Se han producido varias investigaciones que reportan una condición especial en el funcionamiento de los músculos cuádriceps e isquiotibiales en mujeres. Durante aterrizajes después de saltos y actividades de cambios de dirección rápidos se han advertido bajos niveles de actividad de los isquiotibiales comparado con la actividad del cuádriceps (Huston & Wojtys, 1996). Esta característica es de excepcional importancia por las particularidades propias que tienen los músculos isquiotibiales en la estabilización de la rodilla. Para poder

explicar consistentemente este fenómeno, se debe mencionar que los isquiotibiales poseen una capacidad extraordinaria para reducir las fuerzas de angulación o "shear forces" producidas entre la tibia y el fémur (More et al, 1993). Bien es sabido que el ligamento cruzado anterior resiste la traslación anterior de la tibia pasiva y activamente en conjunción con los músculos mediante el entramado de mecanorreceptores y señales nerviosas que producen respuestas motoras que estabilizan la rodilla (Dhyre-Poulsen & Krogsgaard, 2000). Las mujeres, en particular, tienen una menor producción de fuerza en los isquiotibiales en comparación con el cuádriceps, e igualmente, toman más tiempo para producir fuerza máxima en los isquiotibiales, culminando en una demora y menor fuerza de estabilización en respuesta a la traslación anterior de la tibia (Huston & Wojtys, 1996) ante situaciones de estrés como los ya mencionados.

En este sentido, Gregory Myer, Kevin Ford y Timothy Hewett (2004), han propuesto la medición de la tasa de fuerza entre los isquiotibiales y el cuádriceps como un método de detección de imbalances de fuerza entre estos dos grupos musculares. Para ellos, una proporción de la fuerza entre isquiotibiales y cuádriceps correspondiente al 55%, podría indicar una dominancia del cuádriceps. Igualmente, proponen que si no se dispone de máquinas isocinéticas para su medición, también es válido realizar estas mediciones en máquinas isotónicas e incluso, un simple test de flexión de rodilla unipodal hasta 90 grados realizado establemente, puede ser un indicador fiable de la capacidad de los isquiotibiales para estabilizar la rodilla.

Aunque la relación entre la fuerza concéntrica de los isquiotibiales y el cuádriceps ha sido utilizada como medio evaluativo para indicar desequilibrios musculares que predisponen a lesión de rodilla, se ha polemizado acerca de su validez dada la función inespecífica que tienen los isquiotibiales en este tipo de evaluación, sugiriéndose que los isquiotibiales están configurados y específicamente diseñados para contracciones excéntricas que generan desceleraciones de control ante el movimiento producido por el cuádriceps (Osterning, 2000). Por esta razón, se ha propuesto un nuevo concepto para evaluar la relación de fuerza entre isquiotibiales y cuádriceps, consistente en la reciprocidad de fuerza excéntrica de isquiotibiales y concéntrica de cuádriceps, elementos estos mucho más acordes a la función específica de ambos músculos y que ha mostrado una relación mucho más convincente a la realidad arrojando cocientes hasta de 1.1 en esta relación (Aagaard et al, 1998). Es por tanto importante considerar evaluar la fuerza excéntrica de los isquiotibiales para poder tener un mejor reflejo del equilibrio de fuerzas entre estos dos grupos musculares.

### ***Dominancia ligamentaria:***

De acuerdo con Myer, Ford y Hewett (2004), una mujer identificada como dominante ligamentaria, presenta un movimiento notable de valgo de rodilla

que puede ser identificado fácilmente con un test de caída controlada desde un step de 31 cms. Este valgo de rodilla está caracterizado por una aducción femoral, rotación femoral interna en relación con la cadera, rotación tibial externa en relación con el fémur con o sin hiperpronación. Se ha propuesto que la coactivación de cuádriceps e isquiotibiales pueden proteger la articulación de la rodilla, no sólo evitando la traslación anterior de la tibia sino también evitando el valgo dinámico de la extremidad inferior (Hewett et al, 2006). Ya anteriormente, Lloyd y Buchanan (2001) demostraron que la activación ordenada de músculos como el sartorio, tensor de la fascia lata y, prioritariamente la cocontracción de cuádriceps e isquiotibiales, son definitivas para el control y soporte de cargas en valgo y varo sobre la articulación de la rodilla.

### ***Dominancia del miembro inferior:***

Según Hewett, Myer y Ford (2001), la dominancia del miembro inferior es un desequilibrio entre la fuerza muscular y coordinación entre el miembro inferior dominante y el no dominante. Las mujeres muestran mejor coordinación y mayores niveles de fuerza en el miembro inferior dominante. Este tipo de desequilibrio muscular ha sido reportado en la literatura como posible causante de lesiones de rodilla.

### ***Inadecuado stiffness muscular:***

Conforme con Jean Masson (2000), el stiffness o rigidez muscular considera dos características fundamentales, una pasiva determinada por las propiedades elásticas del músculo ante la ausencia de contracción y otra activa que se manifiesta cuando el músculo es sometido a estiramientos crecientes y responde con niveles de contracción para cada longitud crítica desarrollando tensión. Ahora bien, de acuerdo con lo propuesto por Griffin y colaboradores (2006), el stiffness muscular se encuentra disminuido en las mujeres. La consecuencia de esto es una pobre estabilización articular. Esta afirmación se encuentra soportada en el hallazgo de Wojtys, Ashton-Miller y Huston (2002) quienes demostraron que en respuesta a una traslación anterior de la tibia, las mujeres activaban en mayor grado el músculo cuádriceps que los isquiotibiales, mientras que los hombres activaban en mayor proporción los isquiotibiales que el cuádriceps, concluyendo que, dado el papel que tienen los isquiotibiales para disminuir el estrés en el ligamento cruzado anterior, las mujeres poseían una menor habilidad para incrementar su stiffness articular aumentando el riesgo de lesión de este ligamento. Posteriormente, en otro estudio, Wojtys y colaboradores (2003) evidenciaron que ante perturbaciones angulares del pie que causaban rotaciones internas, las mujeres tenían menos habilidad para resistir tales torsiones, lo que hizo concluir a estos autores que aquellas acciones de campo que incluyeran cambios de dirección con pivotes y giros eran potencialmente peligrosas para las mujeres dada su baja capacidad para resistir muscularmente a estas acciones.

### ***Tiempos de activación muscular lentos:***

En la investigación realizada por Huston y Wojtys (1996), midiendo el tiempo de reacción muscular a una traslación anterior de la tibia, se pudo constatar igualmente una respuesta mucho más lenta en las mujeres que en los hombres, hecho que se relaciona positivamente con una limitada estabilización de la rodilla en el tiempo, hecho que puede conducir a una facilitación de los mecanismos de lesión de la articulación antes mencionados. Parece ser que las mujeres tienen una limitada velocidad de acortamiento muscular debido a características estructurales propias de sus fibras musculares (Krivickas et al, 2001).

#### ***Orden de reclutamiento muscular alterado:***

Se ha propuesto que el orden de activación con el cual los músculos que rodean la rodilla se contraen, es de especial importancia para la seguridad y estabilidad de la misma (Wojtys & Huston, 1994). En el mismo estudio de Huston y Wojtys (1996), mencionado anteriormente, se pudo evidenciar que las cinco mujeres más débiles del estudio, muscularmente hablando, exhibían un patrón de reclutamiento en el que el cuádriceps se activaba primero en respuesta a una traslación anterior de la tibia. Por el contrario, en las cinco mujeres más fuertes del estudio, el patrón de activación muscular era totalmente diferente, favoreciendo primariamente la activación de los isquiotibiales, permitiendo una disminución del estrés producido sobre el ligamento cruzado anterior.

#### ***Preactivación del cuádriceps:***

Hewett y colaboradores (2006) también han sugerido que las mujeres inmediatamente antes de caer de un salto, preactivan de manera preferente su músculo cuádriceps, contribuyendo al desequilibrio antes mencionado entre cuádriceps e isquiotibiales. De esta manera, limitan la efectividad del sistema de control muscular activo, especialmente de los músculos isquiotibiales, para estabilizar la rodilla, dado que antes del contacto con el piso, esta musculatura puede estar activada hasta en un 40-80%.

#### ***Decrecimiento propioceptivo:***

Igualmente, Hewett y colaboradores (2006), proponen que las mujeres exhiben menores niveles de control motor debido a que el sistema sensoriomotor posee deficiencias intrínsecas para lograr la estabilización dinámica articular. Por tanto, concluyen que este déficit sensoriomotor puede jugar un rol muy importante en los mecanismos de lesión del ligamento cruzado anterior.

#### ***Fatiga muscular:***

Se ha propuesto que la fatiga muscular puede afectar la estabilidad dinámica de la rodilla alterando la respuesta neuromuscular a la traslación anterior de la tibia dado que la reacción muscular del gastrocnemio, isquiotibiales y cuádriceps muestran una respuesta mucho más lenta, e incluso, en algunos casos, desaparición de la misma (Wojtys, Wylie & Huston, 1996). Además, se ha demostrado, no sólo que los tiempos de reacción se incrementan, sino que la misma habilidad propioceptiva se ve afectada ante la fatiga (Rozzi, Lephart &

Fu, 1999), disminuyendo la posibilidad de estabilización articular pronta y efectiva.

## **ALTERACIONES NEUROMUSCULARES EN EL SINDROME DE DOLOR PATELOFEMORAL**

También se han postulado alteraciones neuromusculares en la génesis del dolor patelofemoral. Tradicionalmente, se ha aceptado que una porción especial del vasto medial del cuádriceps, llamado vasto medial oblicuo (VMO), posee unas fibras únicas que generan un vector medializante en la patela, proveyendo una acción que contrarresta la lateralización patelar observada en este fenómeno anormal de la mecánica patelofemoral (Cleland & Mcrae, 2002). A continuación se exponen las principales alteraciones neuromusculares sugeridas hasta el momento en la literatura:

### ***Debilidad del vasto medial oblicuo:***

Se ha referido que el VMO es incapaz de contrarrestar las fuerzas que ejerce el vasto lateral y, por tanto, la patela tiende a lateralizarse, produciendo roce entre las superficies articulares patelofemorales y la sensibilización de los nociceptores periféricos produciendo dolor. (Tang et al, 2001)

### ***Diferencias entre el tiempo de activación entre el VMO y el VL:***

Otro factor frecuentemente mencionado es la alteración en el tiempo de activación entre el VMO y el VL, sugiriéndose que el VL ha facilitado su acción, iniciando la misma mucho antes que el VMO. En este enfoque, lo que prima no es la fuerza de acción, es decir, no importa el fortalecimiento, lo que importa es lograr una velocidad de activación más rápida para el VMO que contrarreste la acción del VL. (Witvrow et al, 1996)

### ***Decrecimiento propioceptivo:***

También en el síndrome de dolor patelofemoral se ha encontrado que la propiocepción está alterada. Baker y colaboradores compararon la sensación de posición articular entre sujetos con dolor patelofemoral y sujetos sanos, encontrando que aquellos sujetos con dolor patelofemoral mostraban deficiencias al momento de identificar el cambio en la posición articular, no aclarándose si tal condición precedía o era producto de la condición patológica. (Baker et al, 2002)

### ***Acortamiento del retináculo lateral, banda iliotibial, isquiotibiales y gastrocnemio:***

El acortamiento del retináculo lateral y la banda iliotibial hacen que la patela sufra excesiva fuerza lateral alterando el balance biomecánico del mecanismo extensor produciendo un desplazamiento lateral de la patela. De la misma manera, un acortamiento de isquiotibiales y gastrocnemio pueden provocar hiperpresión patelar lo que puede resultar en dolor patelofemoral. (Andrew, 2002)

### ***Debilidad del glúteo medio y máximo:***

Recientemente, se ha indicado que la debilidad del glúteo medio tiene un especial significado en la etiología mecánica del dolor patelofemoral. Este músculo es un estabilizador dinámico de la pelvis durante acciones en cadena cinética cerrada, su debilidad estaría relacionada con la predisposición del miembro inferior a generar malalineaciones como rotación femoral interna, rotación tibial externa con relación al fémur e hiperpronación, circunstancias que en últimas ayudan a la lateralización patelar (Earl et al, 2005). A la par, la debilidad del glúteo máximo también se ha propuesto como característica en este tipo de desórdenes. (Andrew, 2002)

### ***Reducción de la fuerza de los abductores con respecto a los aductores:***

Finalmente, también se ha sugerido que un desequilibrio entre la fuerza de los músculos abductores con respecto a los aductores sería otro posible causante de las anormalidades biomecánicas que pudieran incidir en el origen del síndrome de dolor patelofemoral. Jhon Hollman y colaboradores (2006) demostraron que en sujetos sanos, se producían mayores niveles de fuerza en los aductores con respecto a los abductores, hecho que se reflejaba en un incremento en la hiperpronación del pie, componente importante en la aparición de desórdenes patelofemorales.

## **EVIDENCIA DE LA EXISTENCIA DE ALTERACIONES NEUROMUSCULARES EN FÉMINAS ADOLESCENTES**

Al momento presente, han empezado a publicarse una serie de investigaciones que demuestran convincentemente que las alteraciones neuromusculares que se han sugerido anteriormente, aparecen especialmente en mujeres adolescentes. Hewett, Myer y Ford (2004), sugirieron que el comportamiento neuromuscular y biomecánico entre niños y niñas prepúberes era muy parecido en tareas motoras de riesgo como los aterrizajes después de un salto. Sin embargo, una vez se evaluaban en edades que indicaban el inicio del desarrollo hormonal, se apreciaba una diferencia significativa en los parámetros de desempeño en estas tareas, evidenciándose que las chicas adolescentes cambiaban la forma en que ellas aterrizaban después de un salto. El grupo de investigadores indicó que este cambio podría ser debido a un decrecimiento en el control neuromuscular de la rodilla, el cual podría explicar la diferencia entre la tasa de lesión de rodilla entre chicas y chicos.

Posteriormente, Chris Hass y colaboradores (2005) encontraron que el comportamiento biomecánico de la rodilla era diferente en mujeres post-púberes, evidenciando los mismos factores de riesgo antes descritos y sugiriendo la generación de estrategias dirigidas a modificar estas características.

Carmen Quatman y colaboradores (2006) también encontraron una ausencia de adaptaciones para atenuar las fuerzas externas producidas durante un aterrizaje después de un salto, lo que las puede colocar en desventaja para estabilizar sus rodillas ante situaciones de riesgo.

Buchanan y Vardaxis (2003), por su parte, mostraron que la relación de fuerza entre los isquiotibiales y el cuádriceps mostraba un patrón de aumento una vez los chicos se encontraban en la adolescencia. Lo mismo no sucedió con las chicas, las cuales no incrementaron la relación en este parámetro de evaluación de desequilibrios musculares.

Por otro lado, Christopher Ahmad y colaboradores (2006) encontraron que, después de la menarquia, las mujeres atletas incrementaban la fuerza del cuádriceps mucho más que la fuerza de los isquiotibiales poniéndolas en riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior.

En consecuencia, Timothy Hewett y colaboradores (2006) terminan sugiriendo para niñas adolescentes, la realización de un test simple de preparticipación para determinar el riesgo de lesión en estas niñas dado que ellas exhiben perfiles de riesgo biomecánicos durante todas las etapas de la maduración sexual en tareas de gran exigencia motora como el salto.

Toda esta evidencia ubica el comienzo de las anormalidades neuromusculares al inicio y durante el desarrollo de la madurez sexual de las niñas. Es por tanto importante, que se generen estrategias de evaluación y prevención que propendan por identificar e intervenir estos comportamientos neuromusculares alterados para evitar la aparición de desórdenes de rodilla en el futuro deportivo o de ejercicio recreativo de las mujeres.

## **PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO NEUROMUSCULAR PREVENTIVO**

Existe suficiente evidencia que determina que los entrenamientos neuromusculares tendientes a la generación de programas motores anticipatorios dirigidos a fomentar la estabilidad articular, el orden y producción de fuerza muscular adecuados, son efectivos en la disminución de las tasas de lesión de rodilla tanto del ligamento cruzado anterior (Hewett et al, 1996) (Hewett et al, 1999) (Lephart et al, 2005) (Wilkerson et al, 2004) (Myer et al, 2006) como del síndrome de dolor patelofemoral. (Loudon et al, 2004) (Bolgia & Malone, 2005)

Todos estos programas incluyen desde actividades de aprendizaje simples de movimientos, pasando por entrenamientos en superficies inestables y condiciones reactivas hasta el entrenamiento final de habilidades específicas que mimetizan aquellas circunstancias de riesgo que pueden producir una lesión.

El énfasis está puesto en la creación de programas motores anticipatorios que permitan accionar de manera oportuna todo el engranaje del complejo músculo-tendón-ligamento-hueso, fomentando una estabilización y orden adecuado de activación muscular que permitan evitar el colapso articular.

La investigación sigue en curso esperando clarificar y dar respuestas más certeras a los fenómenos neuromusculares asociados a este tipo de anomalías que se producen en las rodillas de las féminas en maduración.

## REFERENCIAS

- AAGAARD, Per et al. (1998) "A new concept for isokinetic hamstring : quadriceps muscle strength ratio". *American Journal of Sports Medicine*, 26, 231-237
- AHMAD, Christopher S. et al. (2006) "Effect of gender and maturity on quadriceps-to-hamstring strength ratio and anterior cruciate ligament laxity". *American Journal of Sports Medicine*, 34 (3), 370-374
- ANDREW, N. (2002) "Diagnosis and rehabilitation for the knee pain syndromes". *Physical Medicine and Rehabilitation*, 16 (3), 460
- ARENDT, Elizabeth A; AGEL, Julie y RANDALL, Dick. (1999) "Anterior cruciate ligament Injury patterns among collegiate men and women". *Journal of Athletic Training*, 34 (2) 86-92.
- BAKER, Vanessa et al. (2002) "Abnormal knee joint position sense in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Orthopaedic Research*, 20, 208-214
- BESIER, T.F. et al. (2001) "Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1176-1181
- BODEN, Barry P; GRIFFIN, Letha Y y GARRET, William E. Jr. (2000) "Etiology and prevention of noncontact ACL injury". *The Physician and Sportsmedicine*, 28 (4), 53-60
- BOLGLA, Lori y MALONE, Terry. (2005) "Exercise prescription and patellofemoral pain: evidence for rehabilitation". *Journal of Sport Rehabilitation*, 14, 72-88
- BONCI, Christine M. (1999) "Assessment and evaluation of predisposing factors to anterior cruciate ligament injury". *Journal of Athletic Training*, 34 (2), 155-164
- BUCHANAN, Patricia A. y VARDAXIS, Vassilios G. (2003) "Sex related and age-related differences in knee strength of basketball players ages 11-17 years". *Journal of Athletic Training*, 38 (3), 231-237
- CHAPPELL, J.D; KIRKENDALL, Yu B. y GARRET, W.E. (2002) "A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks". *American Journal of Sports Medicine*, 30, 261-267
- CLELAND, Josh y MCRAE, Meghann. (2002) "Patellofemoral pain syndrome: a critical analysis of current concepts". *Physical Therapy Review*, 7, 153-161

- DHYRE-POULSEN, Poul y KROGSGAARD, Michael R. (2000) "Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans". *J. Apply Physiol*, 89, 2191-2195
- EARL, Jennifer E; HERTEL, Jay y DENEGAR, Craig R. (2005) "patterns of dynamic malalignment, muscle activation, joint motion, and patellofemoral pain syndrome". *J. Sport Rehabil*, 14, 215-233
- FLYNN, RK et al. (2005) "The familial predisposition toward tearing the anterior cruciate ligament: a case control study". *American Journal of Sports Medicine*, 33, 23-28.
- FORD, K.R. et al. (2003) "Gender differences in the kinematics of unanticipated cutting in young athletes". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 124-129
- GRIFFIN, Letha Y et al. (2006) "Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries. A review of the Hunt Valley II Meeting, January 2005". *American Journal of Sports Medicine*, 34 (9), 1512-1532
- HAKKINEN, K. (1991) "Force production characteristics of leg extensor, trunk flexor and extensor muscles in male and female basketball players". *J. Sports Med Phys Fitness*, 31 (3), 325-331
- HARMON, Kimberly G y IRELAND, Mary Lloyd. (2000) "Gender differences in noncontact anterior cruciate ligament injuries". *Clinics in Sports Medicine*, 19 (2), 287-302
- HASS, Chris J. et al. (2005) "Knee biomechanics during landings: comparison of pre and postpubescent females". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (1), 100-107
- HEWETT, Timothy E. et al. (1996) "Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques". *American Journal of Sports Medicine*, 24 (6), 765-773
- HEWETT, Timothy E. et al. (1999) "The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 27, 699-706
- HEWETT, Timothy E.; MYER, Gregory D. y FORD, Kevin R. (2001) "Prevention anterior cruciate ligament injuries". *Current Women`s Health Reports*, 1, 218-224
- HEWETT, Timothy E.; MYER, Gregory D. y FORD, Kevin R. (2004) "Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes". *Journal of Bone and Joint Surgery (American)*, 86 (8), 1601-1608
- HEWETT, Timothy E et al. (2005) "Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study". *American Journal of Sports Medicine*, 33, 492-501
- HEWETT, Timothy E; MYER, Gregory D y FORD, Kevin R. (2006) "Anterior cruciate ligament injuries in females athletes. Part 1, mechanisms and risk factors". *American Journal of Sports Medicine*, 34 (2), 299-311
- HEWETT, Timothy E. et al. (2006) "Preparticipation physical examination using a box drop vertical jump test in Young athletes". *Clin J. Sport Med*, 16 (4), 298-304
- HEWETT, Timothy E; ZAZULAK, Bohdanna T y MYER, Gregory D. (2007) "Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk". *American Journal of Sports Medicine*, 35 (4), 659-668
- HOLLMAN, Jhon H. et al. (2006) "Correlations between hip strength and static foot and knee posture". *Journal of Sport Rehabilitation*, 15, 12-23
- HUSTON, L.J y WOJTYK, E.M. (1996) "Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes". *American Journal of Sports Medicine*, 24, 427-436

HUTCHINSON, M.R et IRELAND, ML. (1995) "Knee injuries in female athletes". *Sports Medicine*, 19 (4), 288-302.

IRELAND, Mary Lloyd. (2000) "Proprioception and neuromuscular control related to the female athlete". EN: LEPHART, Scott M y FU, Freddie H (Ed). *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Human Kinetics, Champaign Illinois. 2000, pág 295

KRIVICKAS, Lisa S. et al. (2001) "Age and gender related differences in maximum shortening velocity of skeletal muscle fibers". *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 447-455

LEPHART, Scott M. et al. (2005) "Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes". *British Journal of Sports Medicine*, 39, 932-938

LIU, Stephen H. Et al. (1997) "Estrogen affects the cellular metabolism of the anterior cruciate ligament. A potential explanation for female athletic injury". *American Journal of Sports Medicine*, 25 (5), 704-709.

LLOYD, David G y BUCHANAN, Thomas S. (2001) "Strategies of muscular support of varus and valgus isometric loads at the human knee". *Journal of Biomechanics*, 34 (10), 1257-1267

LOUDON, Janice K; JENKINS, Walter y LOUDON, Karen L. (1996) "The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. *J. Orthop Sports Phys Ther*, 24 (2), 91-97

LOUDON, Janice Kaye et al. (2004) "The effectiveness of exercise in treating patellofemoral pain syndrome". *Journal of Sport Rehabilitation*, 13, 323-342

MASSIÓN, Jean. (2000) "Cerebro y motricidad. Funciones sensoriomotrices. Barcelona: INDE pág 27

MEHRSHEED, Sinaki et al. (2001) "Effect of gender, age and anthropometry on axial and appendicular muscle strength". *American Journal of physical Medicine and Rehabilitation*, 80, 330-338

MIZUNO, Y et al. (2001) "Q Angle influences tibiofemoral and patellofemoral kinematics". *Journal of Orthopaedic Research*, 19, 834-840

MORE, R.C et al. (1993) "Hamstrings: an anterior cruciate ligament protagonist". *American Journal of Sports Medicine*, 21, 231-237

MYER, Gregory D; FORD, Kevin R. y HEWETT, Timothy E. (2004) "Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes". *Journal of Athletic Training*, 39 (4), 352-364

MYER, Gregory D. et al. (2006) "The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics". *American Journal of Sports Medicine*, 34 (3), 445-455

NAJIBI, S y ALBRIGHT, J. P. (2005) "The use of knee braces, part 1: prophylactic knee braces in contact sports. *American Journal of Sports Medicine*, 33, 602-611

OLSEN, O.E et al. (2004) "Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis". *American Journal of Sports Medicine*, 32, 1002-1012

OSTERNING, Louis. (2000) "The role of coactivation and eccentric activity in the ACL injured knee". EN: LEPHART, Scott M y FU, Freddie H (Ed). *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Human Kinetics, Champaign Illinois. 2000, pág 387

- POWELL, John W y BARBER-FOSS, Kim D. (2000) "Sex related injury patterns among selected high school sports". *American Journal of Sports Medicine*, 28, 385-391.
- QUATMAN, Carmen E. et al. (2006) "Maturation leads to gender differences in landing force and vertical jump". *American Journal of Sports Medicine*, 34 (5), 806-813
- ROZZI, Susan L.; LEPHART, Scott M. y FU, Freddie H. (1999) "Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes". *Journal of Athletic Training*, 34 (2), 106-114
- SELL, Timothy C. et al. (2006) "The effect of direction and reaction on the neuromuscular and biomechanical characteristics of the knee during tasks that simulate the noncontact anterior cruciate ligament injury mechanism". *American Journal of Sports Medicine*, 34 (1), 43-54
- TANG, Simon et al. (2001) "Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercise in patients with patellofemoral pain syndrome: an electromyographic study". *Arch Phys Med Rehabil*, 82, 1441-1445
- TILLMAN, M. D. Et al. (2005) "Differences in lower extremity alignment between males and females. Potential predisposing factors for knee injury". *J. Sports Med Phys fitness*, 45, 355-359
- TUMIA, Nezar y MAFFULLI, Nicola. (2002) "Patellofemoral pain in female athletes". *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 10, 69-75.
- WILKERSON GARY B. et al. (2004) "Neuromuscular changes in female collegiate athletes resulting from a plyometric jump-training program". *Journal of Athletic Training*, 39 (1), 17-23
- WITVROW, Erik et al. (1996) "Reflex response times of vastus medialis oblique and vastus lateralis in normal subjects and in subjects with patellofemoral pain syndrome". *J. Orthop Sports Phys Ther*, 24 (3), 160-165
- WOJTYS, E.M y HUSTON, L.J. (1994) "Neuromuscular performance in normal and anterior cruciate ligament-deficient lower extremities". *American Journal of Sports Medicine*, 22, 89-104
- WOJTYS, Edward M.; WYLIE, Bradford B. y HUSTON, Laura J. (1996) "The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees". *American Journal of Sports Medicine*, 24 (5), 615-621
- WOJTYS, Edward M.; ASHTON-MILLER, James A. y HUSTON, Laura J. (2002) "A gender related difference in the contribution of the knee musculature to sagittal-plane shear stiffness in subjects with similar knee laxity". *Journal of Bone and Joint Surgery (American)*, 84, 10-16
- WOJTYS, E.M et al. (2003) "Gender differences in muscular protection of the knee in torsion in size-matched athletes". *Journal of Bone and Joint Surgery (American)*, 85, 782-789