



ORIGINAL

La preactivación neuromuscular durante la maniobra evasiva de salto lateral no se asocia con alteraciones posturales en atletas de *ultimate*: un estudio transversal



José David García^{a,b}, José Ricardo Duque^c y Jaime Alberto Gallo^{a,d,e,*}

^a Medicina Aplicada a la Actividad Física y al Deporte, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

^b IPS Colombia Saludable, Colombia

^c Universidad CES, Medellín, Colombia

^d Grupo de Investigación en Medicina Aplicada a la Actividad Física y al Deporte (GRINMADE), Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

^e Centro Clínico y de Investigación SICOR, Soluciones Integrales en Riesgo Cardiovascular, Medellín, Colombia

Recibido el 14 de febrero de 2014; aceptado el 29 de julio de 2014

Disponible en Internet el 7 de octubre de 2014

PALABRAS CLAVE

Ligamento cruzado anterior;
Factores de riesgo;
Electromiografía de superficie;
Postura;
Deportistas

Resumen

Introducción: Un patrón de preactivación neuromuscular anormal durante la maniobra evasiva de salto lateral (MESL) ha sido relacionado con la lesión del ligamento cruzado anterior. Sin embargo, se desconoce si dicho patrón neuromuscular está asociado con alteraciones posturales y anatómicas.

Objetivo: Describir la frecuencia del patrón neuromuscular anormal durante la MESL y explorar su asociación con características posturales y anatómicas en deportistas de *ultimate*.

Materiales y métodos: Se realizó un estudio tipo transversal, que incluyó atletas de *ultimate* a quienes se les realizó una evaluación de las características posturales, anatómicas y la actividad neuromuscular del muslo durante la MESL con electromiografía de superficie.

Resultados: La frecuencia del patrón neuromuscular anormal durante la MESL fue del 22,6%. Se encontraron diferencias entre aquellos con y sin el patrón neuromuscular anormal en el cociente entre la preactivación del músculo vasto lateral (VL) y el músculo semitendinoso (ST) (0,46; IC 95%: 0,36 a 0,56; $p < 0,001$) y la diferencia entre la preactivación del músculo VL y el músculo ST (30,39%; IC 95%: 20,85 a 39,92; $p < 0,001$). No se encontró asociación de las características posturales y anatómicas con el patrón neuromuscular anormal luego de ajustar por edad, sexo, porcentaje de grasa e índice de masa corporal ($p > 0,05$).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jagallo2000@yahoo.com (J.A. Gallo).

KEYWORDS

Anterior cruciate ligament;
Risk factors;
Surface electromyography;
Posture;
Athletes

Conclusiones: Se encontró una frecuencia de preactivación neuromuscular anormal del 22,6%, la cual fue mayor en hombres que en mujeres. La preactivación neuromuscular anormal durante la MESL es independiente de las características posturales estáticas y anatómicas de los miembros inferiores en deportistas de *ultimate*.

© 2014 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Neuromuscular pre-activation during side-cutting maneuver is not associated with postural changes in ultimate athletes: A cross-sectional study

Abstract

Introduction: An abnormal pattern of neuromuscular pre-activation during side-cutting maneuvers has been associated with anterior cruciate ligament injuries. However, it is not known if this neuromuscular pattern is associated with postural and anatomical alterations.

Objective: To describe the frequency of abnormal neuromuscular patterns during side-cutting maneuvers and explore its association with postural and anatomical characteristics in ultimate sportsmen.

Materials and methods: A cross-sectional study was carried out on ultimate athletes who underwent a postural and anatomic assessment and neuromuscular activity by surface electromyography of the thigh during the side-cutting maneuvers.

Results: The frequency of abnormal neuromuscular pattern during side-cutting maneuver was 22.6%. Differences were found between those with and without abnormal neuromuscular pattern in the ratio of pre-activation of the vastus lateralis (VL) muscle and semitendinosus (ST) muscle (0.46; 95%CI: 0.36 to 0.56; $P < .001$) and the difference between pre-activation of the VL muscle and ST muscle (30.39%; 95%CI: 20.85 to 39.92; $P < .001$). There was no association between postural and anatomical characteristics and abnormal neuromuscular pattern after adjusting for age, sex, body fat percentage and body mass index ($P > .05$).

Conclusions: A frequency of 22.6% abnormal neuromuscular pre-activation was found, which was higher in men than women. Abnormal neuromuscular pre-activation during side-cutting maneuver is independent of postural and anatomical characteristics of lower limb in ultimate athletes.

© 2014 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una lesión osteomuscular frecuente; comúnmente se presenta sin contacto con un adversario y representa el 50% de todas las lesiones ligamentarias de la rodilla¹. La lesión del LCA es más prevalente en atletas femeninas (4 a 8 veces con relación a los hombres) y en individuos que participan en deportes que involucran saltos, cambios súbitos de dirección, aceleración y desaceleración como el *ultimate*². Estos movimientos implican tensión sobre el LCA, debido a la generación de mayor fuerza de tipo excéntrico de los músculos extensores de la rodilla³, lo cual genera la traslación de la tibia sobre el fémur^{4,5}. La tensión no solo es contrarrestada por el LCA, sino también por la coactivación de los músculos flexores de la rodilla como son el semitendinoso y semimembranoso⁶.

Las consecuencias de la rotura del LCA son graves: a) alejan al atleta de la actividad deportiva por un periodo de 6 a 9 meses; b) generan riesgos potenciales de infección luego de la reconstrucción quirúrgica, y c) pueden encontrarse cambios artrósicos entre el 50 y el 90% de los

pacientes luego de 7 años de la lesión⁷⁻⁹. Por tal razón, la investigación reciente se ha centrado en la prevención mediante programas de acondicionamiento físico, entrenamiento neuromuscular y de la propiocepción, los cuales han demostrado ser efectivos¹⁰⁻¹³.

La etiología de la lesión del LCA sin contacto es desconocida, pero se han identificado múltiples factores de riesgo que han sido clasificados en extrínsecos e intrínsecos¹⁴⁻¹⁶. Entre los factores extrínsecos destacan las condiciones medioambientales, los implementos deportivos y las situaciones específicas de juego¹⁴⁻¹⁶, y entre los intrínsecos están la edad, el género^{17,18}, la composición corporal, los anatómicos y la preactivación neuromuscular^{13,19,20}, la cual forma parte del sistema sensoriomotor²¹, que es un elemento esencial en el mantenimiento de la homeostasis articular durante la estabilidad funcional de la articulación.

La electromiografía de superficie (EMGS) permite hacer una evaluación dinámica del control neuromuscular, un indicador importante de la estabilidad articular, durante tareas funcionales^{21,22}. En el año 2009 fue descrito un patrón neuromuscular con EMGS, durante un gesto común de algunos

deportes de equipo, como el fútbol, balonmano y *ultimate*, que involucra un cambio súbito de dirección lateral, denominada maniobra evasiva de salto lateral (MESL). Durante dicha maniobra, una mayor preactivación del músculo vasto lateral y una menor preactivación del semitendinoso se asociaron con rotura del LCA en atletas mujeres²³. La EMGS, como técnica objetiva de medición de la actividad neuromuscular para tamización, representa un avance relevante en la prevención de lesiones, ya que permite detectar atletas en riesgo de rotura del LCA.

Las características anatómicas específicas relacionadas con la rotura del LCA, principalmente en mujeres, como son el *genu valgo*, la torsión tibial externa, el *genu recurvatum* y un menor desarrollo muscular del muslo^{13,20}, están asociadas con cambios en los vectores de fuerza de los músculos alrededor de las articulaciones. Se desconoce si dichas alteraciones anatómicas son factores de riesgo independientes para la rotura del LCA o están relacionadas con una preactivación neuromuscular anormal que puede ser evaluada durante la MESL.

El *ultimate* es un deporte en auge, con un incremento importante en el número de participantes en los últimos años en todo el mundo. Es un juego entre 2 equipos de 7 jugadores cada uno, en donde se utiliza un *frisbee* o disco volador, en un campo rectangular, con medidas aproximadas a la mitad del ancho de un campo de fútbol y con una zona de gol en cada extremo. El objetivo de cada equipo es anotar gol teniendo a uno de sus jugadores atrapando un pase dentro de dicha zona que se está atacando. Un lanzador no podrá correr con el disco, pero podrá lanzarlo en cualquier dirección y a cualquiera de sus compañeros del equipo. Cada vez que un pase no sea completado, ocurre un cambio de posesión y el otro equipo podrá tomar el disco para anotar en la zona de gol opuesta. Generalmente los partidos se juegan a 17 goles y duran alrededor de 100 min. El *ultimate* es un deporte autoarbitrado y de no contacto. Las maniobras que se realizan durante el juego, como son los cambios súbitos de dirección lateral, aceleración, desaceleración y saltos, son consideradas factores de riesgo para la lesión del LCA y lo convierten en un modelo ideal para estudiar conjuntamente los factores de riesgo anatómicos y neuromusculares en sus participantes¹.

El objetivo de este estudio fue describir la proporción de deportistas de *ultimate* que presentan un patrón neuromuscular anormal del muslo durante la MESL y explorar su relación con características posturales y anatómicas.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio transversal, que incluyó atletas de *ultimate* de 3 clubes de la ciudad de Medellín, Colombia, en enero de 2012, quienes se encontraban en la etapa de preparación para la temporada.

Los criterios de inclusión fueron ser mayor de edad y haber entrenado en forma continua durante los últimos 6 meses. Se excluyeron los deportistas que tenían el antecedente de rotura del LCA o que presentaban en el momento de la evaluación alguna lesión osteomuscular. A cada deportista se le realizó una historia clínica y un examen físico completo, una evaluación antropométrica que incluyó pliegues cutáneos y circunferencias según las normas internacionales

propuestas por la ISAK²⁴. Se evaluó la preactivación de los músculos del muslo durante la MESL con EMGS y las características posturales estáticas y anatómicas de los miembros inferiores por medio del software Kinovea 0.8.15.

El estudio fue aprobado por el comité de Bioética del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia; todos los participantes firmaron el consentimiento informado.

Evaluación neuromuscular con electromiografía de superficie durante la maniobra evasiva de salto lateral

Inicialmente se estandarizó la MESL, con una distancia fija de 2 m para el punto de apoyo; además, a cada participante se le dieron las instrucciones pertinentes para realizar la maniobra tan rápido y contundente como fuera posible, con el fin de simular una situación de juego en la cual el movimiento es realizado cuando el tiempo en la toma de decisiones sobre la corrección de la postura es muy limitado. El propósito de la maniobra es evasivo, donde el atleta se inclina en una dirección y luego se mueve en la dirección opuesta (fig. 1). Un estudio demostró alta reproducibilidad test-retest para la magnitud y el momento de la actividad electromiográfica durante esta maniobra²⁵. Se observó que es ejecutada por un programa motor constante, altamente consistente y que permanece sin cambios durante una temporada regular con los entrenamientos y los partidos²⁵.

Luego de estandarizar la MESL y verificar el aprendizaje por parte del deportista, se colocaron los electrodos de superficie para la realización de la EMGS (Biometrics Ltda-SX230) con un distancia fija entre ellos de 20 mm en la zona media del vasto lateral (VL), el vasto medial (VM), el recto femoral (RF), la porción larga del bíceps femoral (BFcl) y el semitendinoso (ST). Posteriormente las señales fueron llevadas a través de cables recubiertos, hechos a la medida, hacia los instrumentos de preamplificación, con un ancho de banda de 10 a 1.000 Hz. Los ángulos de la cadera y la rodilla fueron medidos con electrogoniómetros flexibles (Biometrics Ltda-SG150) posicionados lateralmente en las articulaciones de la cadera y de la rodilla²⁶.

La calibración de la señal de los goniómetros fue realizada en los ángulos anatómicos de la rodilla y la cadera de 0° y 90°, respectivamente, usando una guía geométrica. Se ha determinado que los ángulos de la rodilla y la cadera, las fuerzas de reacción en tierra y la EMGS durante la MESL son confiables y reproducibles²⁵. La señal de posición del goniómetro y de la electromiografía fue tomada de forma sincronizada a 1.000 Hz utilizando un convertidor analógico/digital (DataLOG MWX8, Biometrics Ltda) y almacenada en un computador personal para su posterior análisis. Se utilizó una frecuencia de muestreo de 100 Hz debido a que la mayor parte de las señales de la EMGS están concentradas entre 20 y 200 Hz y solo un contenido despreciable se encuentra más allá de los 500 Hz^{27,28}.

Posteriormente todas las señales de la EMGS fueron filtradas a una alta frecuencia, con un punto de 5 Hz. La raíz a media cuadrática (RMS) de la amplitud en la EMGS fue obtenida instantáneamente 10 ms antes de que los pies estuvieran en contacto con el suelo, lo cual se detectó con sensores de presión localizados en la planta del pie;

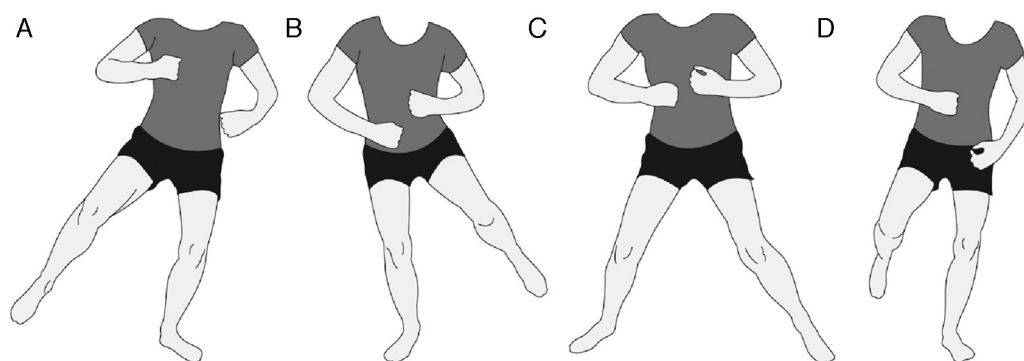


Figura 1 Secuencia de pasos para realizar la maniobra evasiva de salto lateral. A) Impulso para cambiar de dirección de izquierda a derecha. B) Momento de apoyo del pie derecho donde se presenta la máxima tensión del ligamento cruzado anterior. C) Cambio de dirección de derecha a izquierda. D) Retorno a la posición basal.

posteriormente, la señal fue normalizada teniendo en cuenta el punto más alto de la RMS de la amplitud de la EMGS, registrada durante la MESL²⁵ (fig. 2). Para los análisis se tuvo en cuenta el promedio de 5 intentos en cada deportista. Se definió una preactivación anormal durante la MESL cuando se encontró un cociente de preactivación entre el VL y el ST mayor de 1.

Evaluación postural estática de miembros inferiores

Para la evaluación postural estática de los miembros inferiores se utilizó una tabla de postura como guía para los diferentes ejes del cuerpo. Adicionalmente, una línea de plomada se utilizó como guía para establecer las posibles alteraciones posturales estáticas. En la vista lateral, sobre el plano sagital lado derecho e izquierdo, la línea de la plomada utilizó como puntos de referencia el meato auditivo externo, la articulación del hombro y ligeramente por delante del maléolo externo. En posición de espalda, plano coronal, vista posterior, la línea de la plomada pasó por las apófisis espinosas de los cuerpos vertebrales, el pliegue interglúteo y entre las rodillas y los talones. La posición erecta permitió referir el conjunto del alineamiento corporal del individuo observado desde 4 posiciones: frente, espalda, lado derecho y lado izquierdo²⁹. El test de la línea de plomada se utilizó para determinar si los puntos de referencia del sujeto se encontraban alineados de igual manera que los puntos correspondientes en el modelo postural²⁹. Las desviaciones de los diferentes puntos de referencia revelaron el grado de incorrección del alineamiento del sujeto.

Adicionalmente, se tomaron imágenes de la postura de cada atleta en los planos coronal y sagital. Se utilizó el software de análisis de imágenes Kinovea 0.8.15 para medir el ángulo que va desde la cresta iliaca anterosuperior, pasando por la rótula hasta el tobillo. Si el ángulo era menor de 170° se calificó como *genu valgo*, y si era mayor de 177°, se calificó como *genu varum*. En el plano sagital se midió el ángulo de la rodilla entre 2 líneas que sen el trocánter mayor del fémur, el cóndilo lateral de la rodilla y el maléolo lateral; cuando el ángulo era mayor de 10° se consideró *genu recurvatum*. Las rótulas se clasificaron como

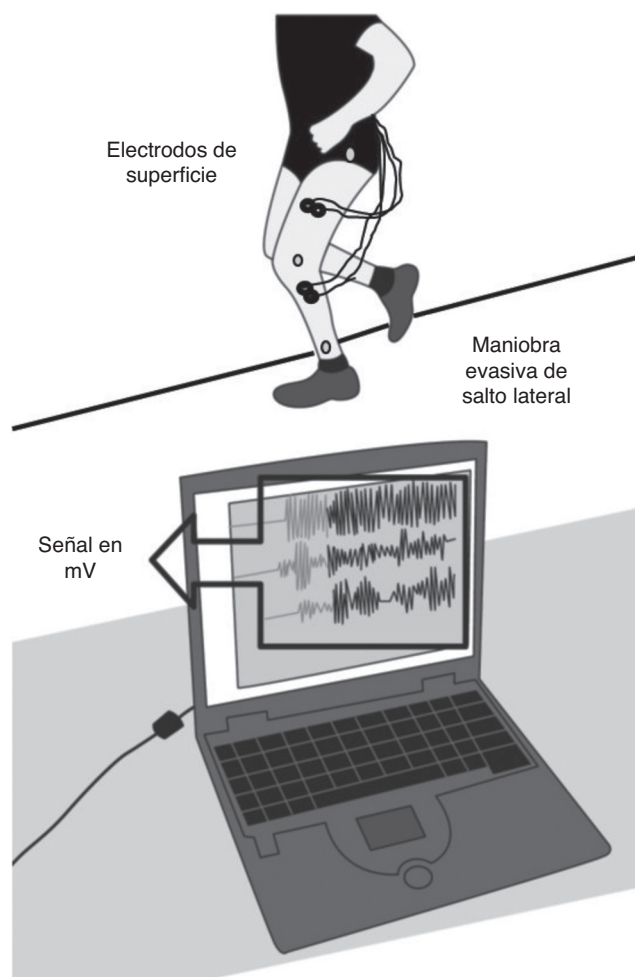


Figura 2 Adquisición de la señal electromiográfica durante la fase de registro. Durante la maniobra evasiva de salto lateral se monitoriza la preactivación neuromuscular de los grupos musculares vasto lateral, vasto medial, semitendinoso, porción larga del bíceps femoral y recto femoral. La señal de la electromiografía de superficie es amplificada y transferida al ordenador en milivoltios (mV).

divergentes, convergentes o neutras, luego de trazar una línea por el eje diafisario femorotibial.

Análisis estadístico

Se estimó un tamaño de muestra de 45 atletas teniendo en cuenta que las alteraciones posturales estarían en el 80% de aquellos con el patrón neuromuscular anormal durante la MESL y en el 20% de aquellos sin el patrón; además, se consideró una relación de 3:1, una confianza del 95% y una precisión relativa del 75%. Se utilizó el software Epidat versión 3.1 de la Organización Panamericana de la Salud.

La descripción de las variables nominales se realizó por medio de frecuencias y proporciones. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para evaluar si la distribución de las variables cuantitativas, en toda la muestra y en los diferentes subgrupos, provenía de una población con distribución normal. Se realizó la descripción de las variables demográficas, clínicas, del entrenamiento, antropométricas, de la alineación postural y neuromusculares en toda la muestra. Para las variables cuantitativas con una distribución normal se utilizó el promedio y la desviación estándar. Para las variables cuantitativas con distribución diferente a la normal se utilizó la mediana. Para las variables nominales se estimó la proporción de individuos con o sin la característica evaluada. Se calculó la proporción de individuos con el patrón neuromuscular anormal durante la MESL.

Se realizó la descripción de las variables demográficas, clínicas, del entrenamiento, antropométricas, de la alineación postural de acuerdo a la presencia del patrón neuromuscular anormal durante la MESL. Para determinar si existían diferencias entre los deportistas con el patrón neuromuscular anormal y aquellos quienes no lo presentaban, en las variables cuantitativas se utilizó la prueba *t* de Student o la *U* de Mann Whitney, dependiendo del tipo de distribución de dichas variables. Se realizó la prueba χ^2 de independencia para establecer si existe relación entre las características de alineación postural estática de miembros inferiores y el patrón neuromuscular anormal.

Se realizó un análisis de regresión logística binomial para ajustar la relación entre las características de alineación postural estática de miembros inferiores y el patrón neuromuscular anormal por edad, sexo, índice de masa corporal (IMC) y adiposidad. Para obtener los OR ajustados se incluyeron en los diferentes modelos las variables de importancia según la literatura científica y las variables que en el análisis bivariado se observó un valor de $p < 0,25$. Se calculó el OR y sus respectivos intervalos de confianza al 95%. Los análisis fueron realizados con el software SPSS, versión 20.0, y se utilizó un nivel de significación estadística del 5%.

Resultados

Inicialmente, fueron invitados a participar 52 atletas, de los cuales uno no aceptó, 3 tenían criterios de exclusión y en el transcurso de la recogida de los datos de la EMGS la señal fue perdida en 3 individuos; finalmente el grupo de análisis estuvo conformado por 45 atletas (23 mujeres y 22 hombres) (fig. 3). Entre los participantes, en 10 deportistas se encontró el patrón neuromuscular anormal durante la MESL que corresponde al 22,6% (38,1% de los hombres y 8,3% de



Figura 3 Flujograma que muestra la inclusión de los deportistas al estudio.

las mujeres). Los deportistas incluidos tenían un promedio de edad de $22,5 \pm 5$ años, un IMC de $21,8 \pm 2,4 \text{ kg/m}^2$ y un porcentaje de grasas corporal de $11,4 \pm 5,6$. El promedio de participación en el deporte de forma competitiva fue de 46 meses, y las características anatómicas y posturales más frecuentes fueron las rótulas divergentes y los pies pronos, con el 46,7 y el 22,2%, respectivamente.

Cuando se hizo la comparación entre los individuos con y sin el patrón neuromuscular anormal durante la MESL, según las características demográficas, antropométricas y neuromusculares, se encontraron diferencias en el porcentaje de grasa corporal ($-4,13\%$; IC 95%: $-8,04$ a $-0,23$; $p = 0,03$), la preactivación de los músculos ST ($-29,34\%$; IC 95%: $-34,23$ a $-24,46$; $p < 0,001$), RF ($-9,0\%$; IC 95%: $-16,50$ a $-1,50$; $p = 0,02$), la diferencia entre la preactivación del músculo VL y el músculo ST ($30,39\%$; IC 95%: $20,85$ a $39,92$; $p < 0,001$) y el cociente entre la preactivación del músculo VL y el músculo ST ($0,46$; IC 95%: $0,36$ a $0,56$; $p < 0,001$) (tabla 1). En el análisis bivariado el sexo y la alineación frontal de las rótulas se asociaron con el patrón neuromuscular anormal durante la MESL, $p = 0,02$ y $p = 0,01$, respectivamente (tabla 2). No se encontró asociación de las características posturales y alteraciones anatómicas con el patrón neuromuscular anormal luego de ajustar por la edad, el sexo, el porcentaje de grasa corporal y el IMC (tabla 3).

Discusión

Los factores de riesgo anatómicos y neuromusculares han sido evaluados en diferentes estudios de forma independiente, con el fin de establecer su relación con la rotura del LCA^{13,30}. El componente neuromuscular es determinante en acciones dinámicas como la MESL, e influye directamente sobre las fuerzas de tensión y de contrarregulación ejercidas en la articulación¹³. En nuestro estudio, que exploró la asociación entre el componente neuromuscular y las características posturales y anatómicas consideradas de riesgo para la rotura del LCA, no encontramos relación entre ellas.

El estudio de la preactivación neuromuscular durante el movimiento se efectuó con EMGS, que captura un registro de la actividad eléctrica muscular y, por lo tanto, constituye una extensión de la exploración física y una prueba de integridad del sistema motor³¹. La preactivación neuromuscular anormal durante la MESL promueve mayor extensión y un valgo dinámico de la rodilla, lo que incrementa la probabilidad de rotura del LCA³², ofreciendo una medición más

Tabla 1 Características demográficas, antropométricas y neuromusculares de los 45 atletas de *ultimate* incluidos en el estudio según la presencia del patrón neuromuscular anormal durante la maniobra evasiva de salto lateral

Variables	Patrón neuromuscular anormal				Diferencia de medias	IC 95% de la diferencia de medias			p
	Sí (n = 10)		No (n = 35)			Inferior	Superior		
	Media	DE	Media	DE					
Edad (años)	23,1	5,6	22,4	5,0	0,70	-3,01	4,41	0,87	
Entrenamiento (meses)	49,0	26,7	49,1	29,7	-0,09	-21,10	20,93	0,62	
Índice de masa corporal (kg/m ²)	21,9	3,3	21,8	2,3	0,18	-1,64	2,00	0,84	
Grasa corporal (%)	8,3	4,3	12,4	5,7	-4,13	-8,04	-0,23	0,03	
Masa libre de grasa (kg)	56,0	9,5	52,9	8,9	3,13	-3,39	9,65	0,40	
Circunferencia muslo medio (cm)	48,1	14,6	53,0	4,2	-4,94	2,75	-10,48	0,32	
Circunferencia muslo distal (cm)	36,6	2,4	38,0	3,3	-1,39	1,14	-3,68	0,24	
Preactivación del bíceps femoral (%)	77,7	13,2	80,9	11,2	-3,21	-11,60	5,17	0,44	
Preactivación del semitendinoso (%)	61,8	10,9	91,1	5,1	-29,34	-34,23	-24,46	< 0,001	
Preactivación recto femoral (%)	72,8	12,9	81,8	9,6	-9,00	-16,50	-1,50	0,02	
Preactivación vasto lateral (%)	80,5	9,8	79,5	8,3	1,04	-5,21	7,30	0,74	
Preactivación vasto medial (%)	72,0	9,2	69,0	15,0	3,03	-4,90	10,96	0,44	
Ángulo de la cadera (grados)	51,8	3,7	52,8	7,2	-0,97	-5,78	3,84	0,35	
Ángulo de la rodilla (grados)	31,3	2,9	30,1	5,8	1,21	-2,64	5,07	0,15	
Diferencia vasto lateral y semitendinoso	18,7	13,1	-11,7	7,6	30,39	20,85	39,92	< 0,001	
Cociente vasto lateral y semitendinoso	1,3	0,3	0,9	0,1	0,46	0,36	0,56	< 0,001	

* Test U de Mann-Witney.

objetiva del riesgo³²⁻³⁴. Actualmente la EMGS es una herramienta útil en la valoración de la actividad neuromuscular, y podría tener implicaciones en la prevención de lesiones articulares^{23,32-34}.

La preactivación neuromuscular anormal fue descrita inicialmente en atletas femeninas de balonmano y fútbol en 2009²³. Nuestro trabajo es el primero en describir la frecuencia de la preactivación neuromuscular anormal en atletas de *ultimate* de ambos sexos. Encontramos una proporción de atletas con una preactivación anormal del 22,2%, de los cuales el 80% eran hombres, frecuencia que es diferente a la descrita en otros estudios, donde la preactivación anormal fue mayor en las mujeres con relación a los hombres²². Entre las posibles explicaciones de dichos hallazgos se encuentran las diferencias en las metodologías de entrenamiento utilizadas o en la estabilidad postural dinámica entre ambos sexos^{13,35}.

No hay evidencia definitiva de que factores anatómicos estén relacionados directamente con un mayor riesgo de rotura del LCA, luego de ajustar por potenciales variables de confusión como son la edad y el sexo³⁶; además, el potencial preventivo de dichas características es relativamente pequeño, ya que la anatomía es difícil de modificar; sin embargo, la anatomía y la postura deben ser tenidas en cuenta, con el propósito de avanzar en el entendimiento de la biomecánica y la fisiopatología de la lesión del LCA.

Entre las características anatómicas, las rodillas en *genu valgo* y *genu varo* pueden aumentar el estrés estático de la rodilla³⁷, lo que podría incrementar la tensión sobre el LCA durante acciones dinámicas; sin embargo, se ha reportado que no son predictivos del ángulo dinámico de las rodillas ni de patrones neuromusculares asociados con el riesgo de lesión de LCA durante el movimiento^{35,38}, hallazgos que corroboran nuestros resultados. El valgo estático no está

relacionado con el valgo dinámico de la rodilla y no hay suficiente evidencia de su asociación con las lesiones del LCA³⁸.

La pronación de los pies también es una característica anatómica importante que ha sido descrita como factor de riesgo para la rotura del LCA en algunos trabajos^{39,40} pero en otros no⁴¹. En nuestro estudio, la pronación de los pies se encontró en el 22% de los deportistas; sin embargo, no fue asociada con la preactivación anormal, lo cual fortalece el concepto que indica que las características anatómicas son independientes del tipo de activación neuromuscular.

Los atletas con un patrón de preactivación neuromuscular normal (67,8%) mostraron mayor preactivación en los músculos flexores de la rodilla, principalmente en el músculo semitendinoso, y menor preactivación en los músculos extensores, lo que podría limitar el valgo dinámico excesivo y la rotación externa de la rodilla, reduciendo el estrés sobre el LCA y ofreciendo mayor estabilidad a la rodilla^{4,34}.

Un IMC alto también ha sido relacionado con un mayor riesgo de lesión del LCA, especialmente en atletas adolescentes femeninas⁴². Algunos estudios han descrito que un incremento en el IMC predispone a una mayor extensión de la extremidad inferior y una disminución de la flexión de la rodilla durante el aterrizaje⁴³; sin embargo, otros autores no han reportado relación entre el IMC y las lesiones del LCA en atletas femeninas^{44,45}. Aunque en nuestro trabajo no encontramos diferencias en el IMC entre los individuos con una preactivación neuromuscular anormal y sin ella, debido a la controversia actual sobre el tema, incluimos en los análisis multivariados el IMC como una potencial variable de confusión. Es posible que el IMC no esté relacionado con la activación neuromuscular ni sea un factor de riesgo importante para la rotura del LCA.

Tabla 2 Características de la alineación postural y anatómicas de los miembros inferiores de los 45 atletas de *ultimate* incluidos en el estudio según la presencia del patrón neuromuscular anormal durante la maniobra evasiva de salto lateral

Variables	Patrón neuromuscular anormal		p
	Sí (n = 10) %	No (n = 35) %	
Sexo			
Masculino	80	37	0,02
Femenino	20	63	
Lateralidad			
Derecha	90	80	0,47
Izquierda	10	20	
Alineación frontal de las rodillas			
Varo	20	17	0,74
Valgo	20	12	
Normal	60	71	
Alineación frontal de las rótulas			
Convergentes	0	20	0,01
Divergentes	90	35	
Centradas	10	45	
Alineación lateral de las rodillas			
Recurvatum	0	3	0,59
Normal	100	97	
Alineación de los pies			
Pronado	20	23	0,92
Supinado	20	15	
Plano	10	5	
Neutro	50	57	
Fémur en rotación interna			
Sí	10	0	0,06
No	90	100	
Tibia en rotación externa			
Sí	20	6	0,16
No	80	94	

Cuando se diseñan planes de entrenamiento neuromuscular óptimos, en los diferentes ámbitos del deporte, especialmente en la prevención y la readaptación luego de lesiones deportivas, es de vital importancia analizar los factores de riesgo relacionados con el sistema sensoriomotor y el correcto funcionamiento del control neuromuscular^{13,21}. Actualmente existen investigaciones que han demostrado que el entrenamiento neuromuscular mejora las capacidades relacionadas con este sistema, como son la sensación de posición y movimiento articular, los patrones de activación muscular y cualidades físicas como la fuerza y el equilibrio^{13,46}. Además, en la última década se han desarrollado trabajos que han logrado reducir el número de lesiones deportivas luego de un entrenamiento del control neuromuscular⁴⁷.

Teniendo en cuenta el potencial preventivo, los hallazgos de nuestro estudio sugirieron la búsqueda de alteraciones en la activación neuromuscular en todos los atletas que

Tabla 3 Modelo de regresión logística para ajustar la asociación entre la alineación postural estática, las características anatómicas de los miembros inferiores y el patrón neuromuscular anormal durante la maniobra evasiva de salto lateral por edad, sexo, porcentaje de grasa corporal e índice de masa corporal

Variables	OR	IC 95% OR		p
		Inferior	Superior	
<i>Alineación frontal de las rodillas</i>				
Varo	1,33	0,17	10,34	0,78
Valgo	0,43	0,04	4,06	0,46
<i>Alineación frontal de las rótulas</i>				
Convergentes	–	–	–	–
Divergentes	0,1	0,01	1,06	0,05
<i>Alineación lateral de las rodillas</i>				
Recurvatum	–	–	–	–
<i>Alineación de los pies</i>				
Pronado	0,54	0,06	4,95	0,59
Supinado	0,69	0,08	5,90	0,73
Plano	0,33	0,01	8,47	0,50
<i>Rotación interna del fémur</i>				
	–	–	–	–
<i>Rotación externa de la tibia</i>				
	0,19	0,02	2,26	0,19

practican deportes que involucren maniobras de alto riesgo para la lesión del LCA, independientemente de las características anatómicas y posturales que posean.

Limitaciones

Nuestro estudio es clasificado como de tipo transversal el cual no permite establecer una asociación causal entre las variables y el desenlace. Además, la frecuencia de alteraciones posturales encontrada fue menor que la calculada; por tal razón, la potencia del estudio podría ser menor a la estimada y aumentar la probabilidad de un error tipo II.

Conclusión

Se encontró una frecuencia de preactivación neuromuscular anormal del 22,6%, la cual fue mayor en hombres que en mujeres. La preactivación neuromuscular anormal durante la MESL es independiente de las características posturales estáticas y anatómicas de los miembros inferiores en deportistas de *ultimate*.

Financiación

Esta investigación fue realizada con recursos de la Universidad CES, Medellín, Colombia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Nuestros sinceros agradecimientos al Bioingeniero Jorge Mario Vélez, de la IPS Arthros, Medellín, Colombia, por sus valiosos aportes; a la Universidad CES; al Posgrado de Medicina Aplicada a la Actividad Física y al Deporte de la Universidad de Antioquia; a todos los deportistas que accedieron a ser evaluados e hicieron posible estos hallazgos.

Bibliografía

1. Boden BP, Dean GS, Feagin Jr JA, Garrett Jr WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*. 2000;23:573-8.
2. Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train*. 2008;43:396-408.
3. Simonsen EB, Magnusson SP, Bencke J, Naesborg H, Havkrog M, Ebstrup JF, et al. Can the hamstring muscles protect the anterior cruciate ligament during a side-cutting maneuver? *Scand J Med Sci Sports*. 2000;10:78-84.
4. Beynonn B, Howe JG, Pope MH, Johnson RJ, Fleming BC. The measurement of anterior cruciate ligament strain in vivo. *Int Orthop*. 1992;16:1-12.
5. More RC, Karras BT, Neiman R, Fritschy D, Woo SL, Daniel DM. Hamstrings—an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. *Am J Sports Med*. 1993;21:231-7.
6. Draganich LF, Vahey JW. An in vitro study of anterior cruciate ligament strain induced by quadriceps and hamstrings forces. *J Orthop Res*. 1990;8:57-63.
7. Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum*. 2004;50:3145-52.
8. Myklebust G, Holm I, Maehlum S, Engebretsen L, Bahr R. Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: A follow-up study. *Am J Sports Med*. 2003;31:981-9.
9. Noyes FR, Moar PA, Matthews DS, Butler DL. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I: The long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg Am*. 1983;65:154-62.
10. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: A review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17:859-79.
11. Silvers HJ, Mandelbaum BR. Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *Br J Sports Med*. 2007;41 Suppl 1:i52-9.
12. Fort A, Costa L, de Antolín P, Massó N. Efectos de un entrenamiento propioceptivo sobre la extremidad inferior en jóvenes deportistas jugadores de voleibol. *Apunts Med Esport*. 2008;157:5-13.
13. Fort A, Romero D. Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. *Apunts Med Esport*. 2013;48:109-20.
14. Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *Br J Sports Med*. 2003;37:384-92.
15. Orchard JW, Powell JW. Risk of knee and ankle sprains under various weather conditions in American football. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35:1118-23.
16. Heidt Jr RS, Dorrer SG, Cawley PW, Scranton Jr PE, Losse G, Howard M. Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces. *Am J Sports Med*. 1996;24:834-42.
17. Yu WD, Liu SH, Hatch JD, Panossian V, Finerman GA. Effect of estrogen on cellular metabolism of the human anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;366:229-38.
18. McLean SG, Fellin RE, Suedekum N, Calabrese G, Passerallo A, Joy S. Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:502-14.
19. Ferrer-Roca V, Baliasa X, Domínguez-Castrilloa O, Lindeb FJ, Antoner Turmo-Garuz A. Evaluación de factores de riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior en jugadores de fútbol de alto nivel. *Apunts Med Esport*. 2014;49:5-10.
20. Wilk KE, Arrigo C, Andrews JR, Clancy WG. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction in the female athlete. *J Athl Train*. 1999;34:177-93.
21. Fort A, Romero D. Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts Med Esport*. 2013;48:69-76.
22. Bencke J, Zebis MK. The influence of gender on neuromuscular pre-activity during side-cutting. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011;21:371-5.
23. Zebis MK, Andersen LL, Bencke J, Kjaer M, Aagaard P. Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. *Am J Sports Med*. 2009;37:1967-73.
24. International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). *International Standards for Anthropometric Assessment*. Australia: Underdale, SA; 2001.
25. Zebis MK, Bencke J, Andersen LL, Dossing S, Alkjaer T, Magnusson SP, et al. The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during sidcutting in female elite soccer and handball players. *Clin J Sport Med*. 2008;18:329-37.
26. Aagaard P, Magnusson SP, Nielsen M, Haleem J, Poulsen K. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation. *Phys Ther*. 2006;86:683-97.
27. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: Effects of resistance training. *J Appl Physiol* (1985). 2000;89:2249-57.
28. Andersen LL, Andersen JL, Magnusson SP, Aagaard P. Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *Eur J Appl Physiol*. 2005;93:511-8.
29. Woodhull AM, Maltrud K, Mello BL. Alignment of the human body in standing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985;54:109-15.
30. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lazaro-Haro C, et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17:705-29.
31. Kimura J. *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle*. Philadelphia: Davis Company; 2001.
32. Kelly AK. Anterior cruciate ligament injury prevention. *Curr Sports Med Rep*. 2008;7:255-62.
33. Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slaughterbeck JL. Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res*. 1995;13:930-5.
34. Chappell JD, Creighton RA, Giuliani C, Yu B, Garrett WE. Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: Risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*. 2007;35:235-41.
35. Fort A, Romero D, Costa L, Bagur C, Lloret M, Montaña A. Diferencias en la estabilidad postural estática y dinámica según sexo y pierna dominante. *Apunts Med Esport*. 2009;162:74-81.
36. Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, Bahr R, Beynonn BD, Demaio M, et al. Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting. January 2005. *Am J Sports Med*. 2006;34:1512-32.

37. Mizuno Y, Kumagai M, Mattessich SM, Elias JJ, Ramrattan N, Cosgarea AJ, et al. Q-angle influences tibiofemoral and patellofemoral kinematics. *J Orthop Res.* 2001;19:834-40.
38. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15:181-9.
39. Allen MK, Glasoe WM. Metrecom measurement of navicular drop in subjects with anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train.* 2000;35:403-6.
40. Woodford-Rogers B, Cyphert L, Denegar CR. Risk factors for anterior cruciate ligament injury in high school and college athletes. *J Athl Train.* 1994;29:343-6.
41. Jenkins WL, Killian CB, Williams 3rd DS, Loudon J, Raedeke SG. Anterior cruciate ligament injury in female and male athletes: The relationship between foot structure and injury. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2007;97:371-6.
42. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1. Mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med.* 2006;34:299-311.
43. Brown CN, Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE. Effects of increased body mass index on lower extremity motion patterns in a stop-jump task. *J Athl Train.* 2005;40:32.
44. Fuller CW, Dick RW, Corlette J, Schmalz R. Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 2. Training injuries. *Br J Sports Med.* 2007;41 Suppl 1:i27-32.
45. Knapik JJ, Sharp MA, Canham-Chervak M, Hauret K, Patton JF, Jones BH. Risk factors for training-related injuries among men and women in basic combat training. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:946-54.
46. Eils E, Rosenbaum D. A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1991-8.
47. Herman K, Barton C, Malliaras P, Morrissey D. The effectiveness of neuromuscular warm-up strategies, that require no additional equipment, for preventing lower limb injuries during sports participation: a systematic review. *BMC Med.* 2012;10:75.