

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



TREBALL ORIGINAL

La preactivació neuromuscular durant la maniobra evasiva de salt lateral no s'associa a alteracions posturals en esportistes d'*ultimate*: un estudi transversal

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

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

^b *IPS Colombia Saludable, Colòmbia*

^c *Universidad CES, Medellín, Colòmbia*

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

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

Rebut el 14 de febrer de 2014; acceptat el 29 de juliol de 2014

PARAULES CLAU

Lligament encreuat anterior;
Factors de risc;
Electromiografia de superfície;
Postura;
Esportistes

Resum

Introducció: Un patró de preactivació neuromuscular anormal durant la maniobra evasiva de salt lateral (MESL) ha estat relacionat amb la lesió del lligament encreuat anterior. Tanmateix, es desconeix si aquest patró neuromuscular està associat a alteracions posturals i anatòmiques.

Objectiu: Descriure la freqüència del patró neuromuscular anormal durant l'MESL i explorar-ne l'associació amb característiques posturals i anatòmiques en esportistes d'*ultimate*.

Materials i mètodes: Es féu un estudi transversal, que incloïa esportistes d'*ultimate* als quals es realitzà una avaluació de les característiques posturals, anatòmiques i l'activitat neuromuscular de la cuixa durant l'MESL amb electromiografia de superfície.

Resultats: La freqüència del patró neuromuscular anormal durant l'MESL fou del 22,6%. Es trobaren diferències entre els que tenien i els que no tenien un patró neuromuscular anormal en el quocient entre la preactivació del múscul vast lateral (VL) i el múscul semitendinos (ST) (0,46; IC 95%: 0,36 a 0,56; $p < 0,001$) i la diferència entre la preactivació del múscul VL i el múscul ST (30,39%; IC 95%: 20,85 a 39,92; $p < 0,001$). No es trobà associació de les característiques posturals i anatòmiques amb el patró neuromuscular anormal, després d'haver ajustat per edat, sexe, percentatge de greix i índex de massa corporal ($p > 0,05$).

* Autor per a correspondència

Correu electrònic: jagallo2000@yahoo.com (J.A. Gallo)

KEYWORDS

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

Conclusions: Es trobà una freqüència de preactivació neuromuscular anormal del 22,6%, que fou major en els homes que en les dones. La preactivació neuromuscular anormal durant l'MESL és independent de les característiques posturals estàtiques i anatòmiques dels membres inferiors de l'esportista d'*ultimate*.

© 2014 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

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.

Introducció

La ruptura del lligament encreuat anterior (LEA) és una lesió osteomuscular freqüent; comunament es presenta sense contacte amb un adversari i representa el 50% de totes les lesions lligamentoses del genoll¹. La lesió de l'LEA és més prevalent en les esportistes dones (4 a 8 vegades en relació als homes) i en individus que participen en esports que involucren salts, canvis de direcció sobtats, acceleració i desacceleració com l'*ultimate*². Aquests moviments impliquen tensió sobre l'LEA, degut a què els músculs extensors del genoll generen més força de tipus excèntric³, la qual cosa genera la translació de la tibia sobre el fèmur^{4,5}. La tensió no sols és contrarestada per l'LEA, sinó també per la coactivació dels músculs flexors del genoll com el semitendinos i el semimembranós⁶.

Les conseqüències de la ruptura de l'LEA són greus: a) allunyen l'esportista de l'activitat esportiva per un període de 6 a 9 mesos; b) generen riscos potencials d'infecció després de la reconstrucció quirúrgica, i c) poden trobar-se canvis artròsics entre el 50 i el 90% dels pacients

després de 7 anys de la lesió⁷⁻⁹. Per aquest motiu, la investigació recent s'ha centrat en la prevenció mitjançant programes de condició física, entrenament neuromuscular i de la propiocepció, que han demostrat que són efectius¹⁰⁻¹³.

L'etiologia de la lesió de l'LEA sense contacte és desconeguda, però s'han identificat múltiples factors de risc que han estat classificats en extrínsecs i intrínsecs¹⁴⁻¹⁶. Entre els factors extrínsecs destaquen les condicions mediambientals, els implements esportius i les situacions específiques de joc¹⁴⁻¹⁶, i entre els intrínsecs hi ha l'edat, el sexe¹⁷⁻¹⁸, la composició corporal, els anatòmics i la preactivació neuromuscular^{13,19-20}, que forma part del sistema sensoriomotor²¹, que és un element essencial en el manteniment de l'homeòstasi articular durant l'estabilitat funcional de l'articulació.

L'electromiografia de superfície (EMGS) permet fer una avaluació dinàmica del control neuromuscular, un indicador important de l'estabilitat articular, durant les tasques funcionals²¹⁻²². L'any 2009 fou descrit un patró neuromuscular amb EMGS, durant un gest comú d'alguns esports d'equip, com el futbol, l'handbol i l'*ultimate*, que involucra un can-

vi sobtat de direcció lateral, denominat maniobra evasiva de salt lateral (MESL). Durant aquesta maniobra una preactivació major del múscul vast lateral i una preactivació menor del semitendinós s'associaren a una ruptura de l'LEA en esportistes dones²³. L'EMGS com a tècnica objectiva pel cribatge del mesurament de l'activitat neuromuscular representa un avenç rellevant en la prevenció de les lesions, perquè permet detectar esportistes en risc de ruptura de l'LEA.

Les característiques anatòmiques específiques relacionades amb la ruptura de l'LEA, principalment en les dones, com ara el *genu valgum*, la torsió tibial externa, el *genu recurvatum* i un desenvolupament muscular menor de la cuixa^{13,20} estan associats a canvis dels vectors de força dels músculs del voltant de les articulacions. Es desconeix si aquestes alteracions anatòmiques són factors de risc independents de la ruptura de l'LEA o estan relacionades amb una preactivació neuromuscular anormal que pot ser avaluada durant l'MESL.

L'*ultimate* és un esport en auge, amb un increment important del nombre de participants els darrers anys a tot el món. És un joc entre 2 equips de 7 jugadors cadascun, que utilitza un *frisbee* o disc volador, en un camp rectangular, d'unes dimensions aproximades a la meitat de l'amplada d'un camp de futbol i amb una zona de gol a cada extrem. L'objectiu de cada equip és anotar gol amb un dels jugadors atrapant una passada dins la zona que s'ataca. Un llançador no pot córrer amb el disc, però pot llançar-lo en qualsevol direcció i a qualsevol dels seus companys d'equip. Cada vegada que una passada no s'ha completat, té lloc un canvi de possessió i l'altre equip pot agafar el disc per anotar a la zona de gol oposada. Generalment els partits es juguen a 17 gols i duren al voltant de 100 min. L'*ultimate* és un esport autoarbitrat i de no contacte. Les maniobres que es practiquen durant el joc, com els canvis sobtats de direcció lateral, acceleració, desacceleració i salts, són considerades factors de risc de la lesió de l'LEA i el converteixen en un model ideal per estudiar conjuntament els factors de risc anatòmics i neuromusculars dels participants¹.

L'objectiu d'aquest estudi fou descriure la proporció d'esportistes d'*ultimate* que presenten un patró neuromuscular anormal de la cuixa durant l'MESL i explorar la seva relació amb les característiques posturals i anatòmiques.

Materials i mètodes

Es realitzà un estudi transversal, que incloïa atletes d'*ultimate* de 3 clubs de la ciutat de Medellín, Colòmbia, el gener de 2012, que estaven a l'etapa de preparació de la temporada.

Els criteris d'inclusió foren ser major d'edat i haver entrenat de forma continua durant els últims 6 mesos. S'excloueren esportistes amb antecedents de ruptura de l'LEA o que presentaven en el moment de l'avaluació alguna lesió osteomuscular. Es féu una història clínica i un examen físic complet a cada esportista, una valoració antropomètrica que inclogué plecs cutanis i circumferències segons les normes internacionals proposades per la ISAK²⁴. S'avaluà la preactivació dels músculs de la cuixa durant

l'MESL amb EMGS i les característiques posturals estàtiques i anatòmiques dels membres inferiors mitjançant el programari Kinovea 0.8.15.

L'estudi fou aprovat pel comitè de bioètica de l'*Instituto de Investigaciones* de la Facultat de Medicina de la Universitat d'Antioquia; tots els participants firmaren el consentiment informat.

Avaluació neuromuscular amb electromiografia de superfície durant la maniobra evasiva de salt lateral

Inicialment s'estandarditzà l'MESL, a una distància fixa de 2 m del punt de recolzament; a més, es donaren als participants les instruccions pertinents per realitzar la maniobra tan ràpida i contundent com fos possible, per tal de simular una situació de joc en què el moviment és realitzat quan el temps en la presa de decisions sobre la correcció de la postura és molt limitat. El propòsit de la maniobra és evasiu, en què l'esportista s'inclina cap a una direcció i després es mou en la direcció oposada (fig. 1). Un estudi demostrà alta reproductibilitat test-retest de la magnitud i el moment de l'activitat electromiogràfica durant aquesta maniobra²⁵. S'observà que és executada per un programa motor constant, altament consistent i que roman sense canvis durant una temporada regular amb els entrenaments i els partits²⁵.

Després d'estandarditzar l'MESL i verificar l'aprenentatge per part de l'esportista, es col·locaren els elèctrodes de superfície per realitzar l'EMGS (Biometrics Ltda. SX230) a una distància fixa entre ells de 20 mm a la zona medial del vast lateral (VL), el vast medial (VM), el recte femoral (RF), la porció llarga del bíceps femoral (BFcl) i el semitendinós (ST). Posteriorment els senyals van ser transportats a través de cables recoberts, fets a mida, cap als instruments de preamplificació, amb un ample de banda de 10 a 1.000 Hz. Els angles del maluc i el genoll foren mesurats amb electrogoniòmetres flexibles (Biometrics Ltda. SG150) posicionats lateralment a les articulacions del maluc i del genoll²⁶.

El calibratge del senyal dels goniòmetres fou realitzat en els angles anatòmics del genoll i el maluc de 0 i 90°, respectivament, amb una guia geomètrica. S'ha determinat que els angles del genoll i el maluc, les forces de reacció a terra i l'EMGS durant l'MESL són confiables i reproduïbles²⁵. El senyal de posició del goniòmetre i de l'electromiografia foren presos de manera sincronitzada a 1.000 Hz amb un convertidor analògic/digital (DataLOG MWX8, Biometrics Ltda.) i emmagatzemats en un ordinador personal per ser analitzats posteriorment. S'utilitzà una freqüència de mostreig de 100 Hz degut a què la major part dels senyals de l'EMGS estan concentrats entre 20 i 200 Hz i només un contingut menyspreable és superior als 500 Hz²⁷⁻²⁸.

Posteriorment tots els senyals de l'EMGS foren filtrats a una alta freqüència, amb un punt de 5 Hz. La mitjana quadràtica (RMS, de l'anglès *root mean square*) de l'amplitud en l'EMGS fou obtinguda instantàniament 10 ms abans que els peus entressin en contacte amb el terra, cosa que es detectà amb sensors de pressió localitzats a la planta del peu; posteriorment el senyal fou normalitzat tenint en compte el punt més alt de l'RMS, de l'amplitud

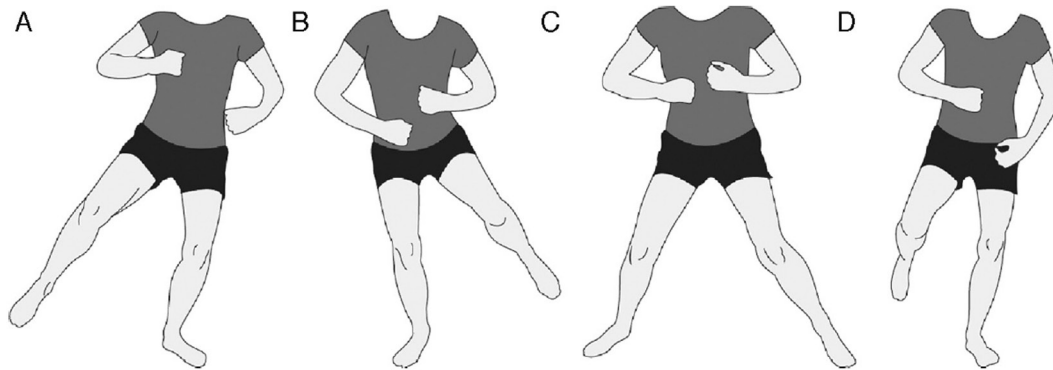


Figura 1 Seqüència de passos que cal fer en la maniobra evasiva de salt lateral. A) Impuls per canviar la direcció d'esquerra a dreta. B) Moment de recolzament del peu dret en què es presenta la màxima tensió del lligament encreuat anterior. C) Canvi de direcció de dreta a esquerra. D) Retorn a la posició basal.

de l'EMGS, registrada durant l'MESL²⁵ (fig. 2). Per a l'anàlisi es tingué en compte la mitjana de 5 intents de cada esportista. Es definí una preactivació anormal durant l'MESL quan es trobà un quocient de preactivació entre el VL i l'ST major que 1.

Avaluació postural estàtica de membres inferiors

Per a l'avaluació postural estàtica dels membres inferiors s'utilitzà una taula de postura com a guia dels diferents eixos del cos. Addicionalment, una línia de plomada s'utilitzà com a guia per establir les possibles alteracions posturals estàtiques. A la vista lateral, sobre el pla sagital del costat dret i esquerre, la línia de la plomada utilitzà com a punts de referència el meatus auditu extern, l'articulació de l'espatlla i lleugerament per davant del mal·lèol extern. En posició d'esquena, pla coronal, vista posterior, la línia de la plomada passà per les apòfisis espinoses dels cossos vertebrals, el plec intergluti i entre els genolls i els talons. La posició erecta permeté referir el conjunt de l'alineament corporal de l'individu observat des de 4 posicions: de cara, d'esquena, costat dret i costat esquerre²⁹. El test de la línia de plomada s'utilitzà per determinar si els punts de referència del subjecte estaven alineats igual que els punts corresponents al del model postural²⁹. Les desviacions dels diferents punts de referència revelaren el grau d'incorrecció de l'alineament del subjecte.

Addicionalment, es prengueren imatges dels plans coronal i sagital de la postura de cada atleta. S'utilitzà el programari d'anàlisi d'imatges Kinovea 0.8.15 per mesurar l'angle que va des de la cresta ilíaca anteriosuperior, passant per la ròtula fins al turmell. Si l'angle era menor de 170° es qualificava com a *genu valgum*, i si era major de 177°, es qualificava de *genu varum*. En el pla sagital es mesurà l'angle del genoll format per 2 línies que uneixen el trocànter major del fèmur, el còndil lateral del genoll i el mal·lèol lateral; quan l'angle era major de 10° es considerà *genu recurvatum*. Les ròtules es classificaren com a divergents, convergents o neutres, després de traçar una línia per l'eix diafisiari femorotibial.

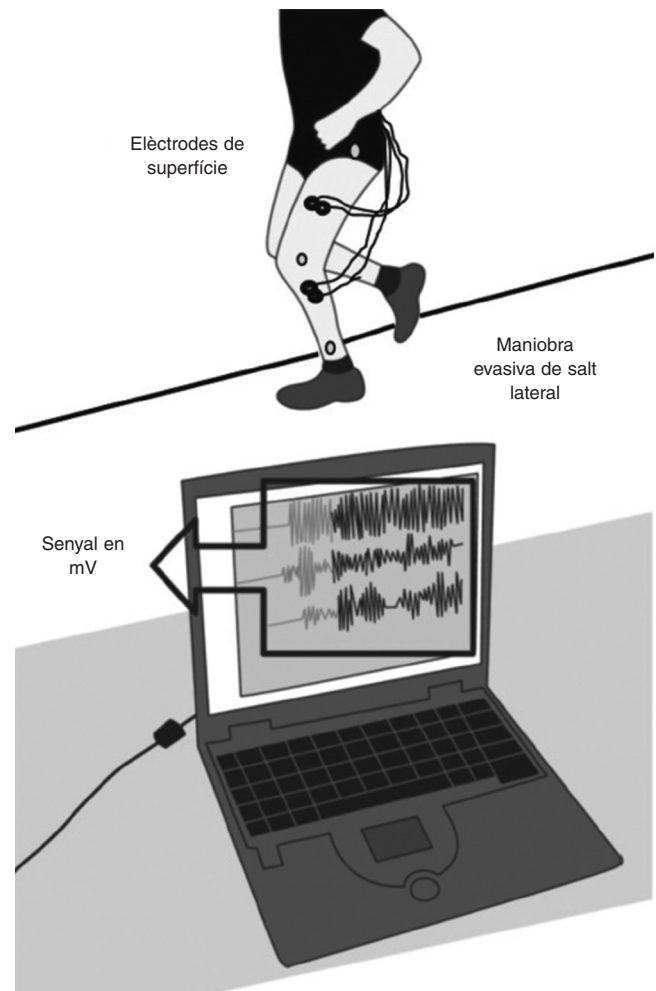


Figura 2 Presa del senyal electromiogràfic durant la fase de registre. Durant la maniobra evasiva de salt lateral es monitoritza la preactivació neuromuscular dels grups musculars vast lateral, vast medial, semitendinós, porció llarga del bíceps femoral i recte femoral. El senyal de l'electromiografia de superfície és amplifícat i transferit a l'ordinador en milivolts (mV).

Anàlisi estadística

S'estimà una grandària de mostra de 45 esportistes tenint en compte que les alteracions posturals serien el 80% dels que tenien el patró neuromuscular anormal durant l'MESL o el 20% dels que no tenien patró; a més, es considerà una relació de 3:1, una confiança del 95% i una precisió relativa del 75%. S'utilitzà el programari Epidat versió 3.1 de l'Organització Panamericana de la Salut.

La descripció de les variables nominals es realitzà mitjançant freqüències i proporcions. S'utilitzaren les proves de Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk per avaluar si la distribució de les variables quantitatives, a tota la mostra i en diferents subgrups, provenia d'una població amb distribució normal. Es realitzà la descripció de les variables demogràfiques, clíniques, de l'entrenament, antropomètriques, de l'alineació postural i neuromusculars en tota la mostra. En les variables quantitatives amb una distribució normal s'utilitzà la mitjana i la desviació estàndard. En les variables quantitatives amb una distribució diferent a la normal s'utilitzà la mediana. En les variables nominals s'estimà la proporció d'individus amb o sense la característica avaluada. Es calculà la proporció d'individus amb el patró neuromuscular anormal durant l'MESL.

Es realitzà la descripció de les variables demogràfiques, clíniques, de l'entrenament, antropomètriques, de l'alineació postural d'acord amb la presència del patró neuromuscular anormal durant l'MESL. Per determinar si hi havia diferències entre els esportistes amb el patró neuromuscular anormal i els que no el tenien, a les variables quantitatives s'utilitzà la prova *t* d'Student o la *U* de Mann Whitney, depenent del tipus de distribució de les variables esmentades. Es realitzà la prova χ^2 d'independència per establir si hi havia relació entre les característiques d'alineació postural estàtica de membres inferiors i el patró neuromuscular anormal.

Es realitzà una anàlisi de regressió logística binomial per ajustar la relació entre les característiques d'alineació postural estàtica de membres inferiors i el patró neuromuscular anormal per edat, sexe, índex de massa corporal (IMC) i adipositat. Per obtenir els OR ajustats s'incloueren en els diferents models les variables d'importància segons la literatura científica i les variables que en l'anàlisi bivariada s'observà un valor de $p < 0,25$. Es calculà l'OR i els seus respectius intervals de confiança al 95%. Les anàlisis foren realitzades amb el programari SPSS, versió 20.0, i s'utilitzà un nivell de significació estadística del 5%.

Resultats

Inicialment foren invitats a participar 52 esportistes, dels quals un no acceptà, 3 tenien criteris d'exclusió i durant la recollida de dades de l'EMGS es perdé el senyal de 3 individus; finalment el grup d'anàlisi estigué format per 45 esportistes (23 dones i 22 homes) (fig. 3). Entre els participants, es trobà a 10 esportistes el patró neuromuscular anormal durant l'MESL, que correspon al 22,6% (38,1% dels homes i 8,3% de les dones). Els esportistes inclosos tenien una mitjana d'edat de $22,5 \pm 5$ anys, un IMC de $21,8 \pm 2,4$ kg/m² i un percentatge de greix corporal d' $11,4 \pm 5,6$. La mitja-

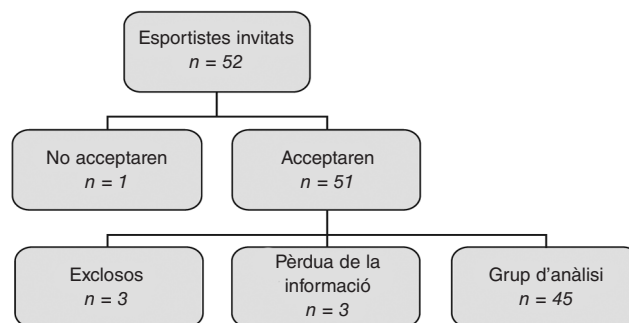


Figura 3 Diagrama de flux que mostra la inclusió dels esportistes de l'estudi.

na de participació a l'esport de forma competitiva fou de 46 mesos, i les característiques anatòmiques i posturals més freqüents foren les ròtules divergents i els peus prons, amb el 46,7 i el 22,2%, respectivament.

Quan es féu la comparació entre els individus amb i sense el patró neuromuscular anormal durant l'MESL, segons les característiques demogràfiques, antropomètriques i neuromusculars, es trobaren diferències en el percentatge de greix corporal (-4,13%; IC 95%: -8,04 a -0,23; $p = 0,03$), la preactivació dels músculs 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 diferència entre la preactivació del múscul VL i el múscul ST (30,39%; IC 95%: 20,85 a 39,92; $p < 0,001$) i el quocient entre la preactivació del múscul VL i el múscul ST (0,46; IC 95%: 0,36 a 0,56; $p < 0,001$) (taula 1). A l'anàlisi bivariada el sexe i l'alineació frontal de les ròtules s'associaren amb el patró neuromuscular anormal durant l'MESL, $p = 0,02$ i $p = 0,01$, respectivament (taula 2). No es trobà associació de les característiques posturals i alteracions anatòmiques amb el patró neuromuscular anormal després d'ajustar per edat, sexe, el percentatge del greix corporal i l'IMC (taula 3).

Discussió

Els factors de risc anatòmics i neuromusculars han estat avaluats en diferents estudis de forma independent, per tal d'establir la seva relació amb el trencament de l'LEA^{13,30}. El component neuromuscular és determinant en accions dinàmiques com l'MESL, i influeix directament sobre les forces de tensió i de contraregulació exercides a l'articulació¹³. Al nostre estudi, que explorà l'associació entre el component neuromuscular i les característiques posturals i anatòmiques considerades de risc en la fractura de l'LEA, no hi vam trobar relació.

L'estudi de la preactivació neuromuscular durant el moviment s'efectuà amb EMGS, que captura un registre de l'activitat elèctrica muscular i, per tant, constitueix una extensió de l'exploració física i una prova d'integritat del sistema motor³¹. La preactivació neuromuscular anormal durant l'MESL promou major extensió i un valg dinàmic del genoll, cosa que incrementa la probabilitat de fractura de l'LEA³², i ofereix un mesurament més objectiu del risc³²⁻³⁴. Actualment l'EMGS és una eina útil per valorar l'activitat

Taula 1 Característiques demogràfiques, antropomètriques i neuromusculars dels 45 esportistes d'*ultimate* inclosos a l'estudi segons la presència del patró neuromuscular anormal durant la maniobra evasiva de salt lateral

Variables	Patró neuromuscular anormal				Diferència de mitjanes	IC 95% de la diferència de mitjanes		p	
	Sí (n = 10)		No (n = 35)			Inferior	Superior		
	Mitjana	DE	Mitjana	DE					
Edat (anys)	23,1	5,6	22,4	5,0	0,70	-3,01	4,41	0,87	*
Entrenament (mesos)	49,0	26,7	49,1	29,7	-0,09	-21,10	20,93	0,62	*
Índex de massa corporal (kg/m ²)	21,9	3,3	21,8	2,3	0,18	-1,64	2,00	0,84	
Greix corporal (%)	8,3	4,3	12,4	5,7	-4,13	-8,04	-0,23	0,03	*
Massa lliure de greix (kg)	56,0	9,5	52,9	8,9	3,13	-3,39	9,65	0,40	*
Circumferència cuixa medial (cm)	48,1	14,6	53,0	4,2	-4,94	2,75	-10,48	0,32	*
Circumferència cuixa distal (cm)	36,6	2,4	38,0	3,3	-1,39	1,14	-3,68	0,24	*
Preactivació del bíceps femoral (%)	77,7	13,2	80,9	11,2	-3,21	-11,60	5,17	0,44	
Preactivació del semitendíno (%)	61,8	10,9	91,1	5,1	-29,34	-34,23	-24,46	< 0,001	*
Preactivació recte femoral (%)	72,8	12,9	81,8	9,6	-9,00	-16,50	-1,50	0,02	
Preactivació vast lateral (%)	80,5	9,8	79,5	8,3	1,04	-5,21	7,30	0,74	
Preactivació vast medial (%)	72,0	9,2	69,0	15,0	3,03	-4,90	10,96	0,44	
Angle del maluc (graus)	51,8	3,7	52,8	7,2	-0,97	-5,78	3,84	0,35	*
Angle del genoll (graus)	31,3	2,9	30,1	5,8	1,21	-2,64	5,07	0,15	*
Diferència vast lateral i semitendíno	18,7	13,1	-11,7	7,6	30,39	20,85	39,92	< 0,001	
Quocient vast lateral i semitendíno	1,3	0,3	0,9	0,1	0,46	0,36	0,56	< 0,001	

* Test U de Mann-Witney.

neuromuscular, i podria tenir implicacions en la prevenció de lesions articulars^{23,32-34}.

La preactivació neuromuscular anormal va ser descrita inicialment en jugadores d'handbol i futbol femení el 2009²³. El nostre treball és el primer en descriure la freqüència de la preactivació neuromuscular anormal en esportistes d'*ultimate* d'ambdós sexes. Vam trobar una proporció d'esportistes amb una preactivació anormal del 22,2%, dels quals el 80% eren homes, freqüència diferent a la descrita en altres estudis, en què la preactivació anormal fou major en les dones respecte als homes²². Entre les possibles explicacions d'aquestes troballes hi ha les diferències en les metodologies de l'entrenament utilitzades o en l'estabilitat postural dinàmica entre ambdós sexes^{13,35}.

No hi ha evidència definitiva que els factors anatòmics estiguin relacionats directament amb un major risc de trençament de l'LEA, després d'ajustar per potencials variables de confusió com l'edat i el sexe³⁶; a més, el potencial preventiu d'aquestes característiques és relativament petit, donat que l'anatomia és difícil de modificar; tanmateix, cal tenir en compte l'anatomia i la postura, per tal d'avançar en la comprensió de la biomecànica i la fisiopatologia de la lesió de l'LEA.

Entre les característiques anatòmiques, els genolls en *genu valgum* i *genu varum* poden augmentar l'estrès estàtic del genoll³⁷, cosa que podria incrementar la tensió sobre l'LEA en les accions dinàmiques; tanmateix, s'ha reportat que no són predictius de l'angle dinàmic dels genolls ni de patrons neuromusculars associats al risc de lesió de l'LEA durant el moviment^{35,38}, troballes que corroboren els nos-

tres resultats. El valg estàtic no està relacionat amb el valg dinàmic del genoll i no hi ha evidència suficient de la seva associació amb les lesions de l'LEA³⁸.

La pronació dels peus també és una característica anatòmica important que ha estat descrita com a factor de risc de la ruptura de l'LEA en alguns treballs³⁹⁻⁴⁰ però en altres no⁴¹. En el nostre estudi, la pronació dels peus es trobà en el 22% dels esportistes, això no obstant, no fou associada a la preactivació anormal, cosa que recolza la teoria que sosté que les característiques anatòmiques són independents del tipus d'activació neuromuscular.

Els esportistes amb un patró de preactivació neuromuscular normal (67,8%) mostraren major preactivació en els músculs flexors del genoll, principalment en el múscul semitendíno, i menor preactivació en els músculs extensors, cosa que podria limitar el valg dinàmic excessiu i la rotació externa del genoll, reduint l'estrès sobre l'LEA i oferint major estabilitat al genoll^{4,34}.

Un IMC alt també ha estat relacionat amb un risc de lesió de l'LEA major especialment en esportistes adolescents dones⁴². Alguns estudis han descrit que un increment de l'IMC predisposa a una major extensió de l'extremitat inferior i a una disminució de la flexió del genoll durant l'aterratge⁴³; tanmateix, altres autors no han reportat relació entre l'IMC i lesions de l'LEA en esportistes dones⁴⁴⁻⁴⁵. Malgrat que en el nostre treball no vam trobar diferències en l'IMC entre els individus amb o sense preactivació neuromuscular anormal, degut a la controvèrsia actual sobre el tema, incloem en les anàlisis multivariades l'IMC com un potencial variable de confusió. És possible que l'IMC no

Taula 2 Característiques de l'alineació postural i anatòmiques dels membres inferiors dels 45 esportistes d'*ultimate* inclosos a l'estudi segons la presència del patró neuromuscular anormal durant la maniobra evasiva de salt lateral

Variables	Patró neuromuscular anormal		p
	Sí (n = 10) %	No (n = 35) %	
Sexe			
Masculí	80	37	0,02
Femení	20	63	
Lateralitat			
Dreta	90	80	0,47
Esquerra	10	20	
Alineació frontal dels genolls			
Var	20	17	0,74
Valg	20	12	
Normal	60	71	
Alineació frontal de les ròtules			
Convergens	0	20	0,01
Divergens	90	35	
Centrades	10	45	
Alineació lateral dels genolls			
Recurvatum	0	3	0,59
Normal	100	97	
Alineació dels peus			
Pron	20	23	0,92
Supí	20	15	
Pla	10	5	
Neutre	50	57	
Fèmur en rotació interna			
Sí	10	0	0,06
No	90	100	
Tíbia en rotació externa			
Sí	20	6	0,16
No	80	94	

estigui relacionat amb l'activació neuromuscular ni sigui un factor de risc important en la ruptura de l'LEA.

Quan es dissenyen plans d'entrenament neuromuscular òptims, en els diferents àmbits de l'esport, especialment en la prevenció i la readaptació després de les lesions esportives, és vital analitzar els factors de risc relacionats amb el sistema sensoriomotor i el funcionament correcte del control neuromuscular^{13,21}. Actualment hi ha investigacions que han demostrat que l'entrenament neuromuscular millora les capacitats relacionades amb aquest sistema, com la sensació de posició i moviment articular, els patrons d'activació muscular i qualitats físiques com la força i l'equilibri^{13,46}. A més, a la darrera dècada s'han desenvolupat treballs que han aconseguit reduir el nombre de lesions esportives després d'un entrenament del control neuromuscular⁴⁷.

Tenint en compte el potencial preventiu, les troballes del nostre estudi suggereixen la recerca d'alteracions de l'activació neuromuscular de tots els esportistes que practiquen esports que involucren maniobres d'alt risc de lesió

Taula 3 Model de regressió logística per ajustar l'associació entre l'alineació postural estàtica, les característiques anatòmiques dels membres inferiors i el patró neuromuscular anormal durant la maniobra evasiva de salt lateral per edat, sexe, percentatge de greix corporal i índex de massa corporal.

Variables	OR	IC 95% OR		p
		Inferior	Superior	
Alineació frontal dels genolls				
Var	1,33	0,17	10,34	0,78
Valg	0,43	0,04	4,06	0,46
Alineació frontal de les ròtules				
Convergens	-	-	-	-
Divergens	0,1	0,01	1,06	0,05
Alineació lateral dels genolls				
Recurvatum	-	-	-	-
Alineació dels peus				
Pron	0,54	0,06	4,95	0,59
Supí	0,69	0,08	5,90	0,73
Pla	0,33	0,01	8,47	0,50
Rotació interna del fèmur				
	-	-	-	-
Rotació externa de la tíbia				
	0,19	0,02	2,26	0,19

d'LEA, independentment de les característiques anatòmiques i posturals que tinguin.

Limitacions

El nostre estudi es classifica de tipus transversal, la qual cosa no permet establir una associació causal entre les variables i el desenllaç. A més, la freqüència d'alteracions posturals trobada fou menor que la calculada; per aquesta raó, la potència de l'estudi podria ser menor a l'estimada i augmentar la probabilitat d'un error de tipus II.

Conclusió

Es trobà una freqüència de preactivació neuromuscular anormal del 22,6%, que fou major en homes que en dones. La preactivació neuromuscular anormal durant l'MESL és independent de les característiques posturals estàtiques i anatòmiques dels membres inferiors dels esportistes d'*ultimate*.

Finançament

Aquesta recerca fou realitzada amb recursos de la Universidad CES, Medellín, Colòmbia.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

Agraïments

El nostre sincer agraïment al Bioenginyer Jorge Mario Vélez, de la IPS Arthros, Medellín, Colòmbia, per la seva valuosa aportació; a la Universidad CES; al Posgrado de Medicina Aplicada a la Actividad Física y al Deporte de la Universidad de Antioquia; a tots els esportistes que accediren a ser avaluats i van fer possibles aquestes troballes.

Bibliografia

- Boden BP, Dean GS, Feagin Jr JA, Garrett Jr WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*. 2000;23:573-8.
- Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train*. 2008;43:396-408.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lohmander LS, Ostergren 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.
- 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.
- Noyes FR, Mooar 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.
- 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.
- Silvers HJ, Mandelbaum BR. Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *Br J Sports Med*. 2007;41Suppl 1:i52-9.
- 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.
- Fort A, Romero D. Análisis de los factores de riesgo neuromusculares de las lesiones deportivas. *Apunts Med Esport*. 2013;48:109-20.
- Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries—a methodological approach. *Br J Sports Med*. 2003;37:384-92.
- 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.
- Heidt RS Jr, Dormer SG, Cawley PW, Scranton PE Jr, Losse G, Howard M. Differences in friction and torsional resistance in athletic shoe-turf surface interfaces. *Am J Sports Med*. 1996;24:834-42.
- 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.
- 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.
- Ferrer-Roca V, Balias X, Domínguez-Castrillo O, Linde FJ, 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.
- 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.
- Fort A, Romero D. Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts Med Esport*. 2013;48:69-76.
- Bencke J, Zebis MK. The influence of gender on neuromuscular pre-activity during side-cutting. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011;21:371-5.
- 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.
- International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). *International Standards for Anthropometric Assessment*. Australia: Underdale, SA; 2001.
- 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 sidestepping in female elite soccer and handball players. *Clin J Sport Med*. 2008;18:329-37.
- Andersen LL, Magnusson SP, Nielsen M, Haleem J, Poulsen K, Aagaard P. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation. *Phys Ther*. 2006;86:683-97.
- 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.
- 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.
- Woodhull AM, Maltrud K, Mello BL. Alignment of the human body in standing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985;54:109-15.
- 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.
- Kimura J. *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle*. Philadelphia: Davis Company; 2001.
- Kelly AK. Anterior cruciate ligament injury prevention. *Curr Sports Med Rep*. 2008;7:255-62.
- 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.
- 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.
- Fort A, Romero D, Costa L, Bagur C, Lloret M, Montañola A. Diferencias en la estabilidad postural estática y dinámica según sexo y pierna dominante. *Apunts Med Esport*. 2009;162:74-81.
- Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, Bahr R, Beynonn BD, Demajo 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 DS 3rd, 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 Suppl1: 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.