Documento descargado de http://www.apunts.org el 04/03/2014. Copia para uso personal, se prohíbe la transmisión de este documento por cualquier medio o formato.

Apunts Med Esport. 2014;**49(181)**:5–10

apunts
MEDICINA DE L'ESPORT
www.apunts.org



TREBALL ORIGINAL

Avaluació dels factors de risc de lesió del lligament encreuat anterior de jugadors de futbol d'alt nivell

Ventura Ferrer-Roca[a,*], Xavier Balius[a], Oscar Domínguez-Castrillo[a], F.J. Linde[b] i Antonio Turmo-Garuz[a,b]

[a] *Grup de Recerca GIRSANE, Centre d'Alt Rendiment (CAR), Sant Cugat del Vallès, Barcelona, Espanya*
[b] *RCD Espanyol de Barcelona, Barcelona, Espanya*

Rebut el 2 d'abril d 2013; acceptat el 10 de juny de 2013

PARAULES CLAU
Futbol;
Prevenció;
Factors de risc;
Lligament encreuat anterior;
Valg;
Dèficit funcional

Resum
L'objectiu del present estudi és detectar els factors de risc de lesió del lligament encreuat anterior (LEA) de jugadors de futbol professional a l'inici de la pretemporada. Trenta-cinc jugadors de futbol d'alt nivell foren analitzats mitjançant un sistema d'anàlisi del moviment i 2 plataformes de força. S'analitzà l'angle del genoll en el pla frontal (valg-var) i les forces verticals de reacció d'ambdues extremitats durant la fase d'aterratge del *drop jump*. Es determinà el coeficient de correlació intraclasse. S'establí el nivell de significació estadística $p < 0,05$. Es trobaren diferències significatives entre l'extremitat més forta i la feble en l'impuls excèntric (32,4 Ns; IC 95%: 22,9-41,8 Ns; $p < 0,05$) i en l'impuls concèntric (14,4 Ns; IC 95%: 9,8-19,1 Ns; $p < 0,05$). El 31,4% dels futbolistes presentaren valors de falta de balanceig entre extremitats, superior al 15%, i el 14,2% dels jugadors aterraren amb un angle de genoll en el pla frontal superior a 20°. La metodologia proposada en aquest estudi ha demostrat ser fiable i sensible a la detecció de factors de risc associats a la lesió del LEA.
© 2013 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

KEYWORDS
Football;
Prevention;
Risk factors;
Anterior cruciate ligament;
Knee valgus;
Functional deficit

Evaluation of risk factors for anterior cruciate ligament injury in high-level male football players

Abstract
Anterior cruciate ligament (ACL) injury is one of the most serious time-loss injuries in football. The purpose of the present study is to evaluate risk factors of ACL injuries in high-level football players during the preseason. Thirty-five high-level players were captured by a video movement analysis system and a two-force platform. Frontal plane knee angle and vertical force were measured during the landing phase of the drop jump. Intraclass correlation coefficient was determined to assess test-retest reliability, and α

*Autor per a correspondència.
Correu electrònic: vferrer@car.edu, venturaferrer1@gmail.com (V. Ferrer-Roca).

1886-6581/$ - see front matter © 2012 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

Documento descargado de http://www.apunts.org el 04/03/2014. Copia para uso personal, se prohíbe la transmisión de este documento por cualquier medio o formato.

level of 0.05 was considered statistically significant. There were significant differences between the stronger and weaker leg in eccentric (32.4 Ns; 95% CI: 22.9-41.8 Ns; $P < .05$) and concentric impulse (14.4 Ns; 95% CI: 9,8-19,1 Ns; $P < .05$). Additionally, 31.4% of the subjects obtained a lower limb strength imbalance higher than 15%. Furthermore, 14.2% of the subjects obtained a frontal plane knee valgus angle higher than 20°. Findings of the present study are particularly significant as a functional deficit higher than 15% and an increased in valgus motion at the knee suggests an altered muscular control of the lower extremity. Furthermore, results confirmed that the test proposed in this study is reliable and sensitive to identify ACL injury intrinsic risk factors in high level male football players in order to introduce the necessary preventive measures.
© 2013 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducció

El 17% de les lesions que es produeixen en el futbol europeu tenen lloc a l'articulació del genoll[1]. Específicament, les lesions del lligament encreuat anterior (LEA) constitueixen el 0,8% del total de lesions[2]. Per tant, la lesió del LEA és una de les que tenen menys incidència, tot i que, d'altra banda, és una de les més severes, ja que els jugadors intervinguts de LEA triguen a competir, en un partit oficial, una mitjana de 10 mesos, i el 6% torna a lesionar-se en un període menor als 2 anys des de la primera lesió[3].

La majoria de lesions del LEA en el futbol es produeixen en situacions sense contacte[4]. De fet, el percentatge de lesions del LEA en què no es produeix contacte entre jugadors referit a la literatura varia del 70 al 84%, tant en homes com en dones[5,6]. Segons Koga et al.[7], aquest tipus de lesió sol començar aplicant una càrrega en valg sobre un únic recolzament amb poca flexió del genoll, que, sumada a la força anterior generada per la contracció del quàdriceps, produeix una translació anterior de la tíbia acompanyada d'una rotació interna, que causa el trencament del LEA.

La causa de lesió del LEA és de naturalesa multifactorial, amb una interacció complexa entre factors de risc interns (anatòmics, sexe, edat, dèficit de força entre extremitats) i factors externs, com les condicions de la superfície de joc, o el material[8]. Entre els factors intrínsecs relacionats amb aspectes biomecànics destaquen en la literatura la sol·licitació lligamentosa i la dominància de l'extremitat inferior.

Sol·licitació lligamentosa (valg o abducció de genoll)

Andrews i Axe[9] foren els primers en introduir el concepte de sol·licitud lligamentosa en què la musculatura de l'extremitat inferior no absorbeix adequadament les forces de reacció del sòl durant els gestos esportius, i es produeix una càrrega excessiva en els lligaments del genoll, especialment en el LEA, que s'encarrega de subjectar la translació anterior de la tíbia i el valg de genoll. La dominància o sol·licitació lligamentosa sol produir grans moments de valg de genoll i un excessiu angle de valg de genoll[10]. Diversos autors relacionen el valg funcional del genoll durant accions explosivo-balístiques amb l'absència o dèficit de control neuromuscular de l'extremitat inferior[11-14].

Dèficit funcional entre extremitats

El dèficit funcional entre extremitats és considerat com una falta de balanceig de la força aplicada entre ambdues extremitats, en què una de les 2 té més control dinàmic[15,16]. Juntament amb altres factors de risc, és responsable de sobrecàrregues mecàniques i de mecanismes compensatoris que afecten la tècnica del moviment i la postura. En general se suposa que en les accions bilaterals, com un salt vertical amb doble suport, les extremitats actuen de forma simètrica[17,18]. L'estudi de la falta de balanceig entre extremitats s'utilitza actualment per determinar quan un jugador està preparat per tornar a la competició. En general, una falta de balanceig inferior al 15% de la força aplicada en proves funcionals de salt ha estat considerada com a criteri suficient per determinar el retorn a la competició[19,20].

Els estudis sobre les lesions del LEA de jugadors semiprofessionals i professionals de futbol són limitats i, en canvi, les conseqüències econòmiques i psicològiques són enormes[21]. En una recent revisió sobre la prevenció i els mecanismes de lesió del LEA sense contacte s'especifica la necessitat de seguir investigant sobre aquest tipus de lesions en el futbol masculí[21].

L'objectiu del present estudi és la detecció del valg funcional de genoll i el dèficit funcional entre extremitats en una tasca simple com el *drop jump* en jugadors de futbol professionals, després del període de vacances, mitjançant un sistema integrat d'anàlisi del moviment.

Mètode

Disseny

El present estudi és observacional, descriptiu transversal i multicèntric.

Subjectes

Participaren a l'estudi trenta-cinc jugadors de futbol (edat 24,3 ± 3,8 anys; pes 75,2 ± 5,4 kg; talla 180,0 ± 3,9 cm) d'un equip de primera divisió espanyola. Tots els participants foren analitzats els 2 primers dies posteriors al període de vacances, abans d'iniciar la pretemporada. El protocol d'avaluació fou dissenyat d'acord amb la conferència

Documento descargado de http://www.apunts.org el 04/03/2014. Copia para uso personal, se prohíbe la transmisión de este documento por cualquier medio o formato.

d'Hèlsinki sobre la investigació en éssers humans. Tots els jugadors van signar el consentiment informat previ a la participació a l'estudi.

Procediment

Els jugadors anaren al laboratori sense haver realitzat exercici intens les 24 h prèvies. Abans de l'anàlisi, els subjectes realitzaren un escalfament estàndard que consistí en 10 min de carrera contínua i exercicis lliures de flexibilitat de l'extremitat inferior. Posteriorment els jugadors practicaren la tasca que havien de fer, i se'ls permeté executar de 3 a 5 intents de la prova.

Cada subjecte fou monitorat amb 8 marcadors retroreflectants, col·locats en ambdues espines ilíaques anterosuperiors, centre de les ròtules, tuberositat tibial i en un punt central entre ambdós mal·lèols amb l'objectiu de calcular l'angle de genoll projectat en el pla frontal[22]. Per a la captura s'utilitzaren 4 càmeres de vídeo digitals (Basler A602fc; Basler AG; Ahrensburg, Alemanya) a 150 Hz i 2 plataformes de força (Kistler Instrumente 9281B; Winterthur, Suïssa) a 900 Hz. Totes les dades es capturaren de forma sincronitzada a partir del sistema d'anàlisi del moviment Vicon Motus (Versió 9.2.0; Vicon Motion System; Centennial, EUA). Abans de cada sessió de captura, el sistema fou calibrat seguint les recomanacions del fabricant.

La prova consistí en fer 3 salts tipus *drop jump*[11,13,15,18,23-27] amb un temps de descans de 2 a 3 min entre salts. En aquest tipus de salts els jugadors havien de deixar-se caure des de la part superior d'un banc d'una alçada de 40 cm subjectant una barra de plàstic a l'espatlla. Només es digué als jugadors que era important aconseguir la màxima alçada de salt amb el mínim temps possible de contacte amb el terra. El primer recolzament després de la caiguda del banc fou utilitzat per a l'estudi. Després de fer el test, un investigador visionà els 3 salts de cada jugador i escollí per a l'anàlisi el que representava millor la capacitat de salt de cadascú.

Anàlisi de les dades

La posició tridimensional dels marcadors fou calculada utilitzant el mètode de transformació lineal directa[28]. L'error mitjà de predicció fou < 2,2 mm. S'utilitzà un filtrat digital *butterwoth* de quart ordre amb freqüències de tall determinades individualment (3 a 6 Hz) per a cada marcador i cada eix[29].

A partir de les forces de reacció d'ambdues plataformes s'establiren 2 instants del salt (fig. 1), contacte inicial amb les plataformes (força vertical > 10 N) i contacte final o sortida de les plataformes (força vertical < 10 N). A partir de la velocitat vertical del marcador de l'espina ilíaca anterosuperior esquerra s'establí un tercer instant, al principi de la fase concèntrica o final de la fase excèntrica. A nivell cinemàtic, com a indicador del valg funcional de genoll, es calculà l'angle de genoll màxim projectat en el pla frontal (2D)[22,25,26], que habitualment coincideix amb el final de la fase excèntrica. S'establí un angle de genolls neutre quan l'angle de genolls del pla frontal va resultar entre –1° i 1°. Quan l'angle era menor de –1° s'entengué

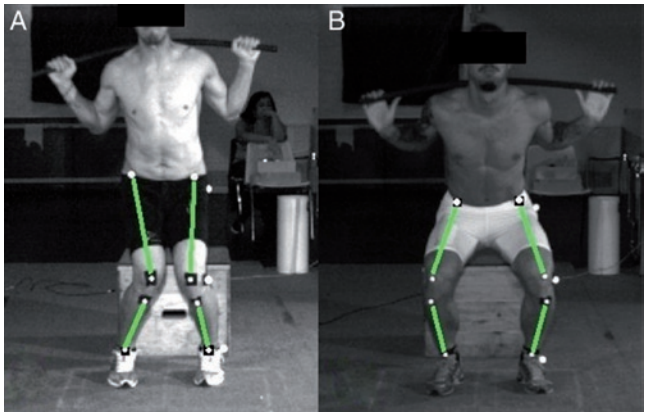


Figura 1 Exemple de 2 jugadors al final de la fase excèntrica durant l'execució del *drop jump*. A) Jugador amb genolls en valg. B) Jugador amb genolls en var.

que els genolls estaven en var, i amb valors superiors a +1°, en valg. A més es mesurà la distància horitzontal recorreguda per cada marcador col·locat en el centre de la ròtula de cada extremitat. A nivell cinètic, es calculà l'impuls mecànic durant la fase excèntrica i durant la fase concèntrica del salt. S'utilitzaren 2 mètodes per calcular el dèficit funcional entre extremitats tant en la fase excèntrica com en la concèntrica. El primer mètode representat (equació 1) ha estat utilitzat prèviament per altres autors[30,31]. Té en compte l'extremitat dominant, que en aquest cas era la del xut. En canvi, el segon mètode[17] (equació 2) té en compte l'extremitat que mostra valors d'impuls més elevats durant el salt.

Equació 1:
([dominant – no dominant]/[major valor]) × 100
Equació 2:
([més fort – menys fort]/[més fort]) × 100

En cas d'utilitzar el primer mètode, el valor positiu del dèficit indica que la cama dominant és la que presenta major valor de força. Si el signe és negatiu, indica que l'extremitat amb valors superiors és la no dominant.

Anàlisi estadística

Els resultats s'expressaren com a mitjana i desviació estàndard. La normalitat de la mostra es calculà amb el test de Shapiro-Wilk. Per comparar l'impuls mecànic entre extremitats es féu la prova t de Student per a mostres relacionades amb un IC del 95%.

Per determinar la fiabilitat test-retest del *drop jump* —és a dir, per avaluar si en el grup d'estudi trobem una bona consistència o reproductibilitat de les diferents variables estudiades en aquest tipus de salt— s'ha calculat el model 1.1 de l'índex de correlació intraclasse (ICC)[27] de les diferents variables analitzades. Dels 35 jugadors que van realitzar el test s'escolliren aleatòriament 10 jugadors, als quals se'ls analitzà 2 dels 3 salts executats.

Documento descargado de http://www.apunts.org el 04/03/2014. Copia para uso personal, se prohíbe la transmisión de este documento por cualquier medio o formato.

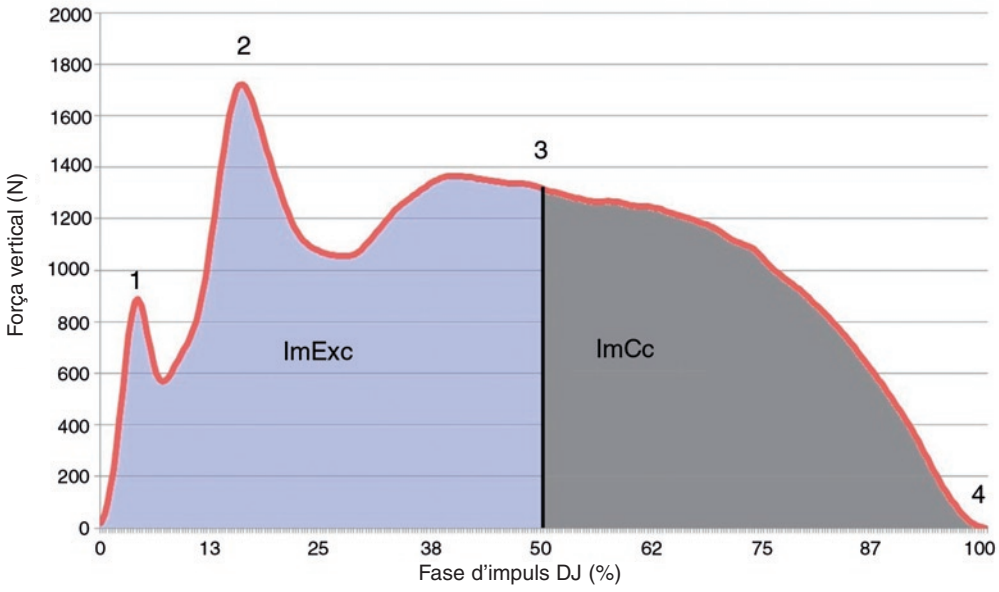


Figura 2 Perfil de la força de reacció vertical durant l'execució d'un *drop jump*. 1: inici de l'aterratge, arribada de l'avantpeu; 2: impacte amb retropeu; 3: final de la fase excèntrica, màxima flexió de genolls; 4: final de la fase concèntrica, enlairament. ImCc: impuls concèntric; ImExc: impuls excèntric.

Resultats

Sol·licitació lligamentosa (valg funcional de genoll)

S'analitzà l'angle màxim de genoll en el pla frontal dels 35 jugadors, és a dir, un total de 70 extremitats. El 24,3% de les extremitats van tendir a valg, el 10% es mantingueren en un recolzament neutre i el 65,7% es posicionaren en var. Quan s'analitzà l'angle frontal màxim en relació al nombre de jugadors, el 37,1% executà el *drop jump* amb una de les 2 extremitats en valg de genoll i el 14,2% presentaren un angle superior a 20°.

Es trobaren diferències significatives en l'angle frontal màxim entre l'extremitat dominant i la no dominant (6,4°; IC 95%: 0,8-11,9°; $p < 0,05$) durant l'execució del *drop jump*. En canvi, en comparar l'extremitat forta amb la feble no es trobaren diferències significatives.

A partir de la posició tridimensional dels marcadors del centre de la ròtula es mesurà la distància horitzontal recorreguda per cada genoll en el pla frontal. Durant la fase de recolzament el genoll dominant es traslladà 2,3 cm (± 3,2 cm) i el no dominant 1,6 cm (± 3,3 cm), i en total es produí una aproximació mitjana i medial dels genolls de 3,9 cm. Aquesta distància recorreguda per cada genoll presentà una bona correlació de Pearson (0,65) amb l'angle de genoll en el pla frontal.

Dèficit funcional entre extremitats

No es trobaren diferències significatives entre l'extremitat dominant i la no dominant en la producció d'impuls durant la fase excèntrica ($p = 0,307$) ni tampoc durant la fase concèntrica ($p = 0,056$) del *drop jump* (figs. 2 i 3).

Es trobaren diferències significatives entre l'extremitat més forta i la feble en l'impuls excèntric (32,4 Ns; IC 95%: 22,9-41,8 Ns; $p < 0,05$) i en l'impuls concèntric (14,4 Ns; IC 95%: 9,8-19,1 Ns; $p < 0,05$) (fig. 3).

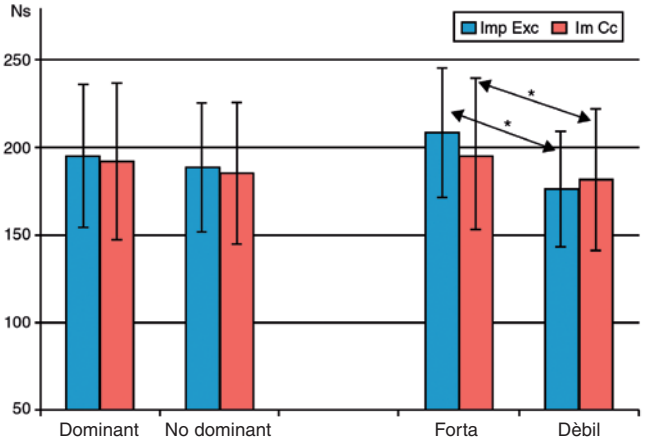


Figura 3 Diferències entre impulsos generats durant la fase excèntrica i concèntrica del *drop jump* entre l'extremitat dominant i la no dominant i entre l'extremitat forta i la dèbil.

El 57% dels jugadors analitzats presentaren un dèficit entre extremitats superior al 10%, i el 31,4%, superior al 15%.

Fiabilitat test-retest del *drop jump*

Els resultats del model 1.1 de l'ICC foren de 0,82 tant en l'impuls excèntric com en l'impuls concèntric, de 0,68 en l'angle frontal de genoll en el contacte inicial i de 0,92 en l'angle frontal màxim de genoll.

Documento descargado de http://www.apunts.org el 04/03/2014. Copia para uso personal, se prohíbe la transmisión de este documento por cualquier medio o formato.

Discussió

La troballa més important d'aquest estudi és que el 37,1% dels jugadors de futbol d'alt nivell analitzats van fer el recolzament del *drop jump* amb un dels genolls en valg, i fins i tot el 14,3% presentà un angle de valg igual o superior a 20°. A la bibliografia no s'han trobat referències específiques de l'angle de valg de jugadors de futbol d'alt nivell en un *drop jump,* però diversos autors han considerat els 20° d'angle de genoll projectats en el pla frontal com a excessius, fins i tot en les dones, que solen presentar un valg més ampli que els homes[11,27,32]. En un estudi prospectiu en 3D en què 205 jugadores realitzaren un *drop jump* des d'una alçada de 31 cm, l'angle de valg en l'aterratge fou significativament major en les esportistes que posteriorment es van lesionar del LEA en comparació amb les esportistes que no se'l van lesionar[24]. De fet, Paterno et al.[32] demostraren que els esportistes intervinguts del LEA amb un moviment angular frontal major de 16° durant el *drop jump* tenien més probabilitat de tornar a lesionar-se que els que presentaren millor control de l'extremitat inferior. El valg funcional de genoll suggereix una alteració del control neuromuscular de l'extremitat inferior en el pla frontal[11-14]. Els grups musculars posteriors, com els glutis (tant el major com el mitjà), els isquiotibials i el tríceps sural, sembla que tenen un paper especialment important en aquest mecanisme de control[10]. Alguns autors focalitzen l'atenció sobre els flexors del genoll que el creuen medialment i lateralment protegint el LEA[11]. Altres autors asseguren que el paper del gluti mitjà i el gluti major en tasques com el *drop jump* és fonamental per al control del valg dinàmic de genoll[33]. Per tant, sembla ser que el treball sobre els grups musculars descrits és fonamental per prevenir la lesió del LEA i fins i tot per evitar un segon trencament del LEA postintervenció.

La segona qüestió que cal destacar en aquest estudi és que el 31,4% dels jugadors presentaren un dèficit funcional entre extremitats superior al 15%, que és considerat un dels paràmetres que cal complir en la «tornada a la competició» després d'una lesió del LEA[19,20]. Es considera que amb aquest dèficit funcional l'extremitat més feble i/o amb menys control neuromuscular no té la capacitat de reaccionar correctament en situacions de risc, mentre que la forta rep impactes més grans i moments de força. Paterno et al.[18] analitzaren el *drop jump* en dones intervingudes del LEA després d'haver passat per un procés de recuperació no controlat. Van trobar que les forces verticals generades en l'instant de l'enlairament per l'extremitat lesionada del LEA fou significativament inferior que la generada per l'extremitat no lesionada. Aquesta falta de balanceig entre extremitats pot relacionarse amb un increment del risc de tornar a sofrir una nova lesió del LEA en els moviments d'alt risc. D'altra banda, Bhering et al.[31] trobaren un dèficit significatiu entre extremitats en l'impuls aplicat en el 28% dels futbolistes analitzats. Es detectà més impuls mecànic en l'extremitat que els jugadors utilitzaven habitualment de suport en el xut. A diferència d'aquest estudi, en el nostre cas únicament es va trobar una tendència (p = 0,056) en què la cama de xutar presentava valors superiors. Possiblement, la diferència d'edat i de nivell amb l'esmentat estudi de Bhering et al., amb una mostra de subjectes de 13 anys d'edat, pot ser una explicació a les diferències trobades.

En referència als resultats del model 1.1 del coeficient de correlació intraclasse (CCI), s'observa que l'impuls durant les fase concèntrica i excèntrica demostrà una fiabilitat molt bona test-retest. Respecte als valors cinemàtics, l'angle màxim de genoll en el pla frontal també presentà molt bona fiabilitat, però en canvi aquest mateix angle en l'instant de contacte amb el sòl presentà una fiabilitat més baixa, tot i que es mantingué entre moderada i bona. Altres autors també han considerat fiables les variables estudiades mitjançant el *drop jump* en l'estudi del moviment del genoll en el pla frontal[11,13,15,18,23-27].

Una limitació possible del present estudi és la utilització d'un model senzill de 8 marcadors retro-reflectants per descriure el moviment de l'extremitat inferior en el pla frontal. Es definí aquest model buscant un compromís entre fiabilitat i reducció del temps de preparació i adquisició de dades per la poca disponibilitat temporal dels jugadors d'alt nivell analitzats. L'angle de genoll projectat en el pla frontal (2D) representa una combinació de l'adducció i la rotació interna de maluc, conjuntament amb la flexió i l'abducció de genoll i sumant-hi la rotació de tíbia[32]. Actualment, l'anàlisi en 2D de l'angle frontal en un *drop jump* està acceptat com un indicador del valg de genoll[22,25,26,34]. De fet, aquest angle s'utilitza juntament amb altres factors antropomètrics en un algoritme per identificar dones esportistes amb alt risc de patir una lesió del LEA[13,25,26].

Una altra limitació del present estudi és que no es tingué en compte el registre de lesions sofertes pels jugadors analitzats durant el transcurs de la temporada. Estudis futurs haurien d'utilitzar aquest registre amb l'objectiu de relacionar el dèficit major i/o valg major de genoll amb la incidència de lesió. Tanmateix, tot i que aquesta recerca no féu un estudi prospectiu, cal tenir en compte que un gran nombre d'autors recolzen la teoria que aquests 2 factors incrementen el risc de lesió del LEA[10,13,18,21,24-26,34].

En conclusió, la metodologia proposada en aquest estudi ha demostrat que és fiable i sensible per detectar la falta de control neuromuscular de les extremitats inferiors en accions explosivo-balístiques. Aquesta falta de control neuromuscular ha estat relacionada per diversos autors amb el risc de sofrir una lesió del LEA[10,13,18,21,22,24-26,34].

La identificació de jugadors que presenten aquests factors de risc després del període de vacances pot ajudar a prendre decisions en el disseny i control de mesures preventives que cal implementar durant la pretemporada. D'altra banda, el fet de tenir una avaluació inicial permet, en cas que es produeixi una lesió, tenir referències sobre el període de rehabilitació i readaptació.

Conflicte d'interessos

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

Bibliografia

1. Ekstrand J, Häglund M, Walden M. Epidemiology of knee injuries in elite football players. En: Roi GS, Della Villa S, editors. Football Medicine Strategies for Knee Injuries. London: Calzetti and Mariucci editori; 2012. p. 10.

Documento descargado de http://www.apunts.org el 04/03/2014. Copia para uso personal, se prohíbe la transmisión de este documento por cualquier medio o formato.

2 Walden M. ACL injuries in elite football. En: Roi GS, Della Villa S, editors. Football Medicine Strategies for Knee Injuries. London: Calzetti and Mariucci editori; 2012. p. 10.
3. Wright RW, Dunn WR, Amendola A, Andrish JT, Bergfeld J, Kaeding CC, et al. Risk of tearing the intact anterior cruciate ligament in the contralateral knee and rupturing the anterior cruciate ligament graft during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective cohort study. Am J Sports Med. 2007;35:1131-4.
4. Yanguas Leyes J, Til Pérez L, Cortés de Olano C. Lesión del ligamento cruzado anterior en fútbol femenino. Estudio epidemiológico de tres temporadas. Apunts Med Sport. 2011;46:137-43.
5. Boden BP, Dean GS, Feagin Jr JA, Garrett Jr WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. Orthop. 2000;23:573-8.
6. Fauno P, Wulff Jakobsen B. Mechanism of anterior cruciate ligament injuries in soccer. Int J Sports Med. 2006;27:75-9.
7. Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: Knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. Am J Sports Med. 2010;38:2218-25.
8. Krosshaug T, Andersen TE, Olsen OEO, Myklebust G, Bahr R. Research approaches to describe the mechanisms of injuries in sport: Limitations and possibilities. Br J Sports Med. 2005;39: 330-9.
9. Andrews JR, Axe MJ. The classification of knee ligament instability. Orthop Clin North Am Jan. 1985;16:69-82.
10. Hewett TE, Ford KR, Hoogenboom BJ, Myer GD. Understanding and preventing ACL injuries: Current biomechanical and epidemiologic considerations — Update 2010. North Am J Sports Phys Ther. 2010;5:234-51.
11. Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. Med Sci Sports Exerc. 2003;35:1745-50.
12. Hewett TE. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: Lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. Br J Sports Med. 2009;43: 417-22.
13. Myer GD, Ford KR, Khoury J, Succop P, Hewett TE. Biomechanics laboratory-based prediction algorithm to identify female athletes with high knee loads that increase risk of ACL injury. Br J Sports Med. 2011;45:245-52.
14. 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.
15. Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. Am J Sports Med. 1996;24:765-73.
16. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. Am J Sports Med. 1991;19:76-81.
17. Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, Marcora SM. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. Med Sci Sports Exerc. 2007;39:2044-50.
18. Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. Clin J Sport Med. 2007;17:258-62.
19. Fitzgerald GK, Lephart SM, Hwang JH, Wainner RS. Hop tests as predictors of dynamic knee stability. J Orthop Sports Phys Ther. 2001;31:588-97.
20. Kvist J. Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: Current recommendations for sports participation. Sports Med. 2004;34:269-80.
21. Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lázaro-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 Arthros. 2009;17:705-29.
22. McLean SG, Walker K, Ford KR, Myer GD, Hewett TE, van den Bogert AJ. Evaluation of a two dimensional analysis method as a screening and evaluation tool for anterior cruciate ligament injury. Br J Sports Med. 2005;39:355-62.
23. 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.
24. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS Jr, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. Am J Sports Med. 2005;33:492-501.
25. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. Br J Sports Med. 2011;45:238-44.
26. Myer GD, Ford KR, Khoury J, Succop P, Hewett TE. Development and validation of a clinic-based prediction tool to identify female athletes at high risk for anterior cruciate ligament injury. Am J Sports Med. 2010;38:2025-33.
27. Stensrud S, Myklebust G, Kristianslund E, Bahr R, Krosshaug T. Correlation between two-dimensional video analysis and subjective assessment in evaluating knee control among elite female team handball players. Br J Sports Med. 2011;45:589-95.
28. Abdel-Aziz Y, Karara HM. Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates. En: Proceedings of the Symposium on Close-Range photogrammetry. Illinois; 1971.
29. Jackson KM. Fitting of mathematical functions to biomechanical data. IEEE Trans Biomed Eng. 1979;26:122-4.
30. Barber SD, Noyes FR, Mangine RE, McCloskey JW, Hartman W. Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. Clin Orthop Rel Res. 1990:204-14.
31. Bhering CAR, Moraes F, Castro CM, Heleno M, Menzel HJ. Impulse production of dominant and non-dominant limbs on young soccer players. En: Paper presented at XXV International Symposium on Biomechanical Sports. 2007.
32. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. Am J Sports Med. 2010;38:1968-78.
33. Souza RB, Powers CM. Differences in hip kinematics, muscle strength, and muscle activation between subjects with and without patella-femoral pain. J Orthop Sports Phys Ther. 2009;39: 12-9.
34. Myer GD, Brent JL, Ford KR, Hewett TE. Real-time assessment and neuromuscular training feedback techniques to prevent anterior cruciate ligament injury in female athletes. Strength Cond J. 2011;33:21-35.