

ISSN 0762-815X

JTS JOURNAL DE
TRAUMATOLOGIE
DU SPORT

ORGANE OFFICIEL DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE TRAUMATOLOGIE DU SPORT

Éditorial
Les pathologies du membre supérieur dominant chez les jeunes joueurs de tennis... et si on évoquait aussi le nerf suprascapulaire
J. Rodière 191

Mémoires
Évaluation d'un protocole de kinésithérapie ambulatoire pour la prise en charge des coxarthroses et conflit antérieurs femoro-acétabulaires des sportifs
M. Roudish, B. Scaentrap, J. Bivajoli, D. Debeussone et F. Duparc 193
Intérêt de l'arthroscopie du poignet dans les lésions du ligament triangulaire
C. Mathoulin 201
Efficacité thérapeutique de l'autologue conditioned plasma (ACP™) : analyse de sa composition cellulaire et revue de la littérature
Y. Bobu, S. Klouche, N. Lefevre, S. Herman et P. Hardy 211
Test isocinétique précoce après ligamentoplastie antérieure de genou : résultats et conclusions
X. Malloupoles, H. Courtois, J. Candia, T. Faucher, S. Boulland, D. Baert, B. Bouain et A. Cazenave 216
Connaissances et attitudes des enseignants d'éducation physique et sportive (EPS) sur la prise en charge de l'expulsion de l'incisive centrale maxillaire
P.A. Levet, P.D.A. Ntoug, M. Dhoof, M. Sarr, E.C. Diop, O.H. Sall et B. Touré 220

Cas cliniques
Fracture-avulsion de l'épine iliaque antéro-inférieure et du petit trochanter chez un jeune adolescent
M. Nour, E. Konono H., J.M. Guillaume, J.M. Genari, T. Merrot et J.P. Alessandrini 225
Rupture post-traumatique négligée du retnaculum extensorum à la cheville. À propos d'un cas et revue de la littérature
M.-A. Benhima, M.-D. El Annani, Y. Nijeb et T. Fikry 229

Mises au point
La prise en charge rééducative globale de patients présentant un syndrome fémoro-patellaire : la lutte contre l'effondrement du membre inférieur par le renforcement du moyen fessier
A. Rombaut, P. Philippe et P. Edouard 232
Coupe du monde 2010 : évaluation d'un échographe portable pour le diagnostic des lésions musculo-squelettiques
Y. Guillodo et A. Sarasin 240

Revue de presse
Clavicule
S. Bensch 244

Formation médicale continue
Les facteurs de risque de rupture du ligament croisé antérieur du genou : l'état neuromusculaire
J.-F. Kintz, F. Deivaux, B. Forthomme, N. Massart, C. Daniel, J.-M. Crielaard et J.-L. Croisier 248


Publication périodique trimestrielle



DÉCEMBRE
2013 4
Vol. 30

This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/authorsrights>



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Les facteurs de risque de rupture du ligament croisé antérieur du genou : l'état neuromusculaire[☆]



Risk factors of anterior cruciate ligament tears: Neuromuscular status

J.-F. Kaux^{a,b,*}, F. Delvaux^b, B. Forthomme^{a,b},
N. Massart^a, C. Daniel^c, J.-M. Crielaard^{a,b},
J.-L. Croisier^{a,b}

^a Service de médecine de l'appareil locomoteur et traumatologie du sport, CHU et université de Liège, avenue de l'Hôpital, B35, 4000 Liège, Belgique

^b Département des sciences de la motricité, université de Liège, Liège, Belgique

^c Service de chirurgie orthopédique, CHU de Liège, Liège, Belgique

Disponible sur Internet le 13 novembre 2013

Formation médicale continue

Introduction

Les lésions du ligament croisé antérieur (LCA) du genou sont invalidantes. Souvent associées à d'autres atteintes intra-articulaires, elles augmentent la propension à développer de l'arthrose précocement [1,2]. Il est très probable que de multiples facteurs intrinsèques et extrinsèques, modifiables ou non, agissent conjointement pour influencer le risque d'entorse grave [3–5]. Il semble donc judicieux de proposer une approche compréhensive de ceux-ci, dont les éléments neuromusculaires, même si les investigations sur ces derniers ne permettent pas d'obtenir une analyse complète des risques de lésion du LCA [6].

Le contrôle neuromusculaire se réfère à l'activation inconsciente de phénomènes dynamiques réflexes qui entourent une articulation en réponse aux stimuli sensoriels [5]. Le système neuromusculaire génère des mouvements et détermine l'action biomécanique compensatrice [5]. Cette activation musculaire inconsciente apparaît cruciale au cours de nombreuses actions sportives et des déficits dans le contrôle neuromusculaire qui pourraient expliquer, du moins en partie, un risque accru de lésion du LCA [7] (Tableau 1).

Facteurs de risque neuromusculaires

Contrôle proprioceptif

La proprioception est définie dans la littérature comme la capacité du corps à maintenir ou à récupérer une position après perturbation [3,5]. « L'équilibre central » permet

[☆] 8th European Sport Medicine Congress of EFSMA & 6th Joint Meeting SFMES & SFTS, du 25 au 28 septembre 2013, Strasbourg.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jfkau@chu.ulg.ac.be (J.-F. Kaux).

Tableau 1 Facteurs de risque neuromusculaires hypothétiques de lésion du ligament croisé antérieur sans contact (essentiellement chez la femme) [6].

| Facteurs de risque | |
|---------------------|--|
| Proprioception | Diminution de la flexion du genou et de la hanche durant les activités à haut risque Majoration de la rotation interne de hanche, de l'abduction de hanche, rotation externe du tibia et moment de force en abduction/adduction du genou durant les activités à haut risque Majoration du déplacement du tronc |
| Contrôle musculaire | Diminution de la force des quadriceps et des ischiojambiers Majoration de l'activité musculaire du quadriceps et réduction de l'activité des ischiojambiers lors des manœuvres athlétiques Faiblesse des muscles de la hanche Fatigue musculaire précoce |
| Raideur du genou | Diminution de la raideur passive et active du genou |

théoriquement la production, le contrôle et le transfert de la force et du mouvement aux segments distaux de la chaîne cinétique. Des déficits du contrôle neuromusculaire pourraient donc provoquer un comportement instable et entraîner des dommages segmentaires.

Une étude vidéo a comparé 17 athlètes (10 femmes et 7 hommes) victimes d'entorses graves du genou sans contact lors de la pratique du basketball (NBA et WNBA), à 6 femmes contrôles sans lésion du LCA [8]. Cette analyse montre que les femmes blessées se réceptionnaient d'un saut avec un valgus du genou et un mouvement latéral du tronc plus important que les hommes ou les femmes contrôles. Il ne s'agit pas ici d'une étude prospective ; il est donc difficile d'affirmer que ces modifications n'ont pas été induites par la lésion. Cependant, ceci conforte les observations biomécaniques rapportées lors de ruptures du LCA réalisées dans d'autres sports d'impulsions (handball, volleyball) : valgus forcé et mouvement de rotation tibiale, genou verrouillé en extension [7,9].

Des études contrôlées en laboratoire ont déterminé l'influence du dimorphisme sexuel sur différents mouvements et schémas d'activation musculaire, entraînant un risque accru de rupture du LCA (4,5 fois plus important chez les femmes) [10,11]. Toutefois, la relation entre ces différences et le risque d'entorse grave du genou demeure encore obscure. La réception d'un saut et les manœuvres de pivot chez la femme montrent une augmentation de la rotation interne de la hanche, couplée à une augmentation de la rotation externe du tibia, et d'une activation musculaire accrue du quadriceps (avec une diminution concomitante de l'activité ischiojambière) [10,12]. L'hypothèse que ces mouvements augmentent le risque de lésion du LCA durant

les activités sportives permettrait d'expliquer la différence d'incidence de blessures du genou selon le sexe, ceci pouvant être attribué à ces inégalités neuromusculaires et à leurs résultantes mécaniques [13].

D'autres études en laboratoire concernant les mesures du contrôle neuromusculaire du genou ont été publiées. Une de celles-ci a évalué ce contrôle ainsi que la charge articulaire inter-segmentaire du membre inférieur lors de la réception d'un saut chez 205 adolescentes pratiquant le football, le basketball ou le volleyball [14]. Les participantes ayant été blessées ($n=9$) avaient une posture et une réception biomécanique sensiblement différentes en comparaison avec les participantes non blessées. En effet, elles présentaient un valgus accru du genou, un moment de force d'abduction inter-segmentaire majoré, ainsi qu'une plus grande force de réaction au sol et un temps de posture plus court. Ces analyses de laboratoire sont utilisées pour caractériser la réponse dynamique biomécanique du genou et du membre inférieur au cours de sauts. Cependant, il faut garder à l'esprit que des erreurs peuvent être induites par le mouvement des marqueurs de mesure adhérent à la peau, entourant le membre inférieur par rapport au squelette [3].

Dans une étude analysant la biomécanique du membre inférieur lors de la réception d'un saut, il a été démontré que les joueuses ($n=41$) présentaient un risque accru de lésion du LCA par rapport aux joueuses ($n=52$), lié à une augmentation de l'angle de projection frontal du genou [15]. Le risque neuromusculaire de lésion du LCA dépendrait donc également du sport pratiqué.

Des recherches ont également été réalisées sur «l'équilibre central» comme facteur de risque neuromusculaire de lésion du LCA. Une étude prospective de cohorte a suivi 277 athlètes collégiens sur 3 ans [16]. Leur proprioception centrale a été testée sur la base des déplacements du tronc après l'arrêt brutal d'une contrainte de force qui lui était soumise. Les 6 athlètes ayant été victimes d'une lésion du LCA présentaient un déplacement du tronc plus important que les athlètes non blessés. Cependant, il n'est pas clairement démontré que le déplacement du tronc pouvait se rapporter à la proprioception centrale, et des modèles de recherches plus spécifiques sont nécessaires afin de mieux comprendre son implication dans l'entorse grave du genou [3].

Après une plastie du LCA, des anomalies biomécaniques et une asymétrie de mouvements persistent malgré un retour aux performances de haut niveau [17] ; ces phénomènes demeurent encore plus prévalents chez ces patients. Ces déficits du contrôle biomécanique et neuromusculaire pourraient être fortement associés à une seconde rupture du LCA. En effet, cette défaillance du contrôle neuromusculaire ayant une influence sur la stabilité du tronc et les mouvements du membre inférieur, est non seulement prédictive d'une lésion du LCA, mais également d'une récurrence après plastie [17]. Ceci indique que ces facteurs de risque neuromusculaires seraient non seulement résiduels mais également exacerbés par la blessure initiale [17].

Une analyse biomécanique (analyse 3D) du saut vertical et de la stabilité posturale avant le retour aux sports de pivots de 56 athlètes ayant bénéficié d'une plastie du LCA a été réalisée [18]. Treize (23%) d'entre eux ont été victimes d'une seconde rupture ipsilatérale du LCA. Ils présentaient un déficit du contrôle de la hanche et du genou

lors de la réception d'un saut et un manque de stabilité posturale.

Suite à ces constatations de déficit du contrôle proprioceptif des membres inférieurs et du tronc, chez les sujets (essentiellement féminins) à risques de rupture du LCA, des programmes de prévention ont été instaurés et intégrés dans la préparation physique et les entraînements de différents sports [19,20].

Contrôle musculaire

Il est clairement démontré qu'un manque de contrôle musculaire dynamique entraîne une augmentation du valgus et des contraintes élevées au niveau du genou et particulièrement du LCA [21]. La dominance du quadriceps résulte de l'activation préférentielle des extenseurs du genou sur les fléchisseurs [22]. Il a été démontré, sur pièce cadavérique, qu'une contraction vigoureuse du quadriceps (provoquée par stimulation électrique) pouvait induire une rupture du LCA [23]. Les déséquilibres de force musculaire (agonistes/antagonistes) des membres inférieurs sont parfois suggérés comme facteurs de risque de lésion (ou de récurrence) du LCA [24]. S'il a été validé scientifiquement que les tests isocinétiques présentent une valeur prédictive sur la survenue de lésion des ischiojambiers [25], il n'existe que peu d'études portant sur le LCA [26]. L'évaluation isocinétique des plasties de LCA a permis d'observer, sur le genou controlatéral sain, une fréquence plus élevée de ratios ischiojambiers/quadriceps réduits que dans une population contrôle [24]. De plus, la cinétique inter-individuelle de récupération de la fonction musculaire est éminemment variable après une plastie du LCA, d'où la nécessité de pouvoir l'évaluer au moyen d'un test isocinétique. Il est évoqué dans la littérature qu'un ratio ischiojambiers/quadriceps réduit, associé à une augmentation de l'abduction du genou, était retrouvé chez des footballeuses, ultérieurement victimes d'une rupture du LCA [27–29]. Un lien entre une éventuelle faiblesse préexistante des ischiojambiers et la survenue d'une lésion du LCA semble donc exister.

Différentes études suggèrent également que les muscles ischiojambiers jouent un rôle important dans le maintien de la stabilité du genou et agissent donc en tant que protecteur du LCA durant les mouvements de translation antérieure du tibia par rapport au fémur [30,31]. De plus, les muscles ischiojambiers sont activés par les récepteurs du LCA lorsque celui-ci est soumis à un stress, ceci donnant des évidences supplémentaires à l'effet agoniste des ischiojambiers sur le LCA [32].

Un protocole de fatigue musculaire altère aussi bien la latence que l'importance de la réponse réflexe des muscles ischiojambiers et aurait donc des répercussions potentielles sur la translation tibiale chez la femme [33–36]. Une diminution de la réponse réflexe des muscles ischiojambiers, avec pour conséquence une augmentation de la translation tibiale par rapport au fémur, augmente l'instabilité du genou et pourrait contribuer à la genèse des lésions du LCA, surtout chez la femme [33–36].

De plus, la fatigue musculaire des ischiojambiers et un ratio ischiojambiers/quadriceps faible pourraient être responsables d'une augmentation de l'instabilité du genou par accentuation de la translation tibiale par rapport au fémur et contribueraient au risque de lésions du LCA, surtout chez

la femme [27,33]. Enfin, la présence de récepteurs mécaniques contrôlant l'action des ischiojambiers au sein du LCA suggère qu'un déficit de proprioception pourrait avoir un impact sur la stabilité du genou, évoquant l'intérêt de programme d'entraînement proprioceptif [32].

Raideur du genou

Différentes études ont montré que les femmes présentaient une raideur musculaire et capsulo-ligamentaire moindre que les hommes [5]. Ceci peut avoir des répercussions sur la translation antérieure mais également concernant les forces de rotation du tibia [37,38]. Un travail a étudié la raideur du genou chez la femme et l'homme en appliquant des forces de varus/valgus et torsion interne/externe [39]. Lorsque des forces de faible magnitude sont appliquées sur le genou, les femmes présentent une raideur significativement moindre que celles des hommes. Chez la femme, celle-ci a tendance à augmenter avec l'importance de la force qui est appliquée. Par contre, chez l'homme elle reste inchangée, quelle que soit la force appliquée. Les femmes présentent donc une moindre raideur du genou en réponse à des forces de faible magnitude en varus/valgus et en torsion interne/externe comparée aux hommes. Celle-ci tend à augmenter avec la contrainte appliquée. Ceci peut donc expliquer le risque de lésions du LCA, même à faible énergie chez les femmes.

Méthodes d'évaluation des facteurs de risque neuromusculaires

Les analyses biomécaniques d'athlètes en laboratoires, permettant actuellement d'évaluer les facteurs de risque neuromusculaires, sont coûteuses et exigeantes [3,40] diminuant ainsi les possibilités d'effectuer des évaluations à grande échelle, en limitant davantage la possibilité de cibler les athlètes à haut risque de lésions. Récemment, un outil de prédiction de lésion du LCA chez la femme, basé sur la clinique, a été développé et validé en laboratoire [41]. Celui-ci fait intervenir 5 paramètres : le poids, la longueur du tibia, le valgus du genou, l'amplitude de flexion du genou, le ratio isocinétique entre ischiojambiers et quadriceps. Le dépistage de facteurs de risque de rupture du LCA pourrait donc être appliqué à une population plus grande.

Conclusion

Grâce à une connaissance globale de tous les facteurs de risque possibles (intrinsèques et extrinsèques, modifiables ou non), les sportifs prédisposés à une (re-)rupture du LCA pourraient être dépistés [3–5]. Cependant, les facteurs neuromusculaires hypothétiques rapportés à ce jour (Tableau 1) ne fournissent pas une compréhension complète de ce risque [6]. En effet, les études réalisées présentaient des échantillons de petite taille suivis sur une courte durée, limitant les conclusions que l'on peut en tirer. Des études prospectives sur de plus grandes populations (> 1000 sujets) et de longues périodes (> 5 ans) permettraient de mieux comprendre ces facteurs de risque et surtout de déterminer leur valeur prédictive de blessure. D'autres facteurs potentiels neuromusculaires pourraient encore être mis en évidence.

Il est également très probable que de multiples facteurs agissent en combinaison sur le risque de blessure et ils peuvent être propres à certains groupes (femmes versus hommes, jeunes versus seniors, sport pratiqué) [3].

Les sujets à risques de lésion du LCA pourraient être dépistés par une analyse fonctionnelle de la réception de saut, notamment (en laboratoire ou sur le terrain) grâce à un protocole de dépistage validé [41], ainsi que par un test isocinétique. L'identification de ces différents facteurs de risque neuromusculaires pourrait permettre d'instaurer des protocoles de prévention [19].

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Références

- [1] Lohmander LS, et al. 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.
- [2] Renstrom P, et al. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med* 2008;42:394–412.
- [3] Smith HC, et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature—part 1: neuromuscular and anatomic risk. *Sports Health* 2012;4:69–78.
- [4] Smith HC, et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature—part 2: hormonal, genetic, cognitive function, previous injury, and extrinsic risk factors. *Sports Health* 2012;4:155–61.
- [5] Alentorn-Geli E, 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.
- [6] Barber-Westin SD, et al. Reducing the risk of noncontact anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. *Phys Sports Med* 2009;37:49–61.
- [7] Olsen OE, et al. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med* 2004;32:1002–12.
- [8] Hewett TE, Torg JS, Boden BP. 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.
- [9] Ferretti A, et al. Knee ligament injuries in volleyball players. *Am J Sports Med* 1992;20:203–7.
- [10] Griffin LY, 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.
- [11] Shultz SJ, et al. ACL Research Retreat V: an update on ACL injury risk and prevention, March 25–27, 2010 Greensboro, NC. *J Athl Train* 2010;45:499–508.
- [12] Hewett TE, et al. Understanding and preventing ACL injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations—update 2010. *N Am J Sports Phys Ther* 2010;5:234–51.
- [13] Chappell JD, et al. 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.
- [14] Hewett TE, 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.
- [15] Munro A, Herrington L, Comfort P. Comparison of landing knee valgus angle between female basketball and football athletes: possible implications for anterior cruciate ligament and patellofemoral joint injury rates. *Phys Ther Sport* 2012;13:259–64.
- [16] Zazulak BT, et al. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med* 2007;35:1123–30.
- [17] Hewett TE, Di Stasi SL, Myer GD. Current concepts for injury prevention in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2013;41:216–24.
- [18] Paterno MV, 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.
- [19] Voskanian N. ACL Injury prevention in female athletes: review of the literature and practical considerations in implementing an ACL prevention program. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2013;6:158–63.
- [20] Paszkewicz J, et al. The effectiveness of injury-prevention programs in reducing the incidence of anterior cruciate ligament sprains in adolescent athletes. *J Sport Rehabil* 2012;21:371–7.
- [21] Ladenhauf HN, Graziano J, Marx RG. Anterior cruciate ligament prevention strategies: are they effective in young athletes—current concepts and review of literature. *Curr Opin Pediatr* 2013;25:64–71.
- [22] Hewett TE, Johnson DL. ACL prevention programs: fact or fiction? *Orthopedics* 2010;33:36–9.
- [23] DeMorat G, et al. Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 2004;32:477–83.
- [24] Croisier JL, et al. Evaluation excentrique après plastie du LCA : modalités et profils. In: Croisier JL, Codine P, editors. *Exercice musculaire excentrique*. Issy-les-Moulineaux: Masson; 2009. p. 97–102.
- [25] Croisier JL, et al. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med* 2008;36:1469–75.
- [26] Hewett TE. Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female athletes. *Strategies for intervention*. *Sports Med* 2000;29:313–27.
- [27] Soderman K, et al. Injuries in adolescent female players in European football: a prospective study over one outdoor soccer season. *Scand J Med Sci Sports* 2001;11:299–304.
- [28] Ebben WP, et al. Gender-based analysis of hamstring and quadriceps muscle activation during jump landings and cutting. *J Strength Cond Res* 2010;24:408–15.
- [29] Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med* 2006;34:490–8.
- [30] Kirkley A, Mohtadi N, Ogilvie R. The effect of exercise on anterior-posterior translation of the normal knee and knees with deficient or reconstructed anterior cruciate ligaments. *Am J Sports Med* 2001;29:311–4.
- [31] Ramesh R, et al. The risk of anterior cruciate ligament rupture with generalised joint laxity. *J Bone Joint Surg* 2005;87B:800–3.
- [32] Solomonow M, et al. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med* 1987;15:207–13.
- [33] Behrens M, et al. Effect of fatigue on hamstring reflex responses and posterior-anterior tibial translation in men and women. *PLoS One* 2013;8:e56988.
- [34] Wojtyś EM, Wylie BB, Huston LJ. The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees. *Am J Sports Med* 1996;24:615–21.

- [35] Friemert B, et al. Differentiation of hamstring short latency versus medium latency responses after tibia translation. *Exp Brain Res* 2005;160:1–9.
- [36] Melnyk M, Gollhofer A. Submaximal fatigue of the hamstrings impairs specific reflex components and knee stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:525–32.
- [37] Granata KP, Wilson SE, Padua DA. Gender differences in active musculoskeletal stiffness Part I. Quantification in controlled measurements of knee joint dynamics. *J Electromyogr Kinesiol* 2002;12:119–26.
- [38] Granata KP, Padua DA, Wilson SE. Gender differences in active musculoskeletal stiffness Part II. Quantification of leg stiffness during functional hopping tasks. *J Electromyogr Kinesiol* 2002;12:127–35.
- [39] Schmitz RJ, et al. Varus/valgus and internal/external torsional knee joint stiffness differs between sexes. *Am J Sports Med* 2008;36:1380–8.
- [40] Myer GD, et al. 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.
- [41] Myer GD, et al. 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.