

Reconstruction du ligament croisé antérieur du genou : quelle stratégie de réhabilitation et quel impact sur le risque de re-rupture à 6 et 12 mois post-ligamentoplastie ?



Rehabilitation after anterior cruciate ligament repair: Strategy and risk of secondary tear 6–12 months later?

S. Abellaneda^{a,b}
 B. Baillon^{c,d}
 P.-Y. Descamps^{c,b}
 D. Florentz^{a,b,d}
 O. Gailly^{b,c}
 M. Vancabeke^{d,e}

^aService de kinésithérapie et revalidation fonctionnelle, centre hospitalier de la Haute-Senne, chaussée de Braine-49, Soignies, Belgique

^bClinique du sport et Pôle de l'appareil neuro-musculo-squelettique, Process spécifique du ligament croisé antérieur du genou, centre hospitalier de la Haute-Senne, chaussée de Braine-49, Soignies, Belgique

^cService de chirurgie orthopedique, hôpitaux Iris Sud, centre hospitalier Joseph-Bracops, rue Docteur-Huet-79, 1070 Anderlecht (Bruxelles), Belgique

^dCentre pluridisciplinaire MedinSport, boulevard Sylvain-Dupuis-229, 1070 Anderlecht (Bruxelles), Belgique

^eService de chirurgie orthopedique, hôpital Delta, centre hospitalier CHIREC, boulevard du Triomphe-201, 1160 Auderghem (Bruxelles), Belgique

RÉSUMÉ

Introduction. – Après une rupture du ligament croisé antérieur du genou, les sportifs présentant une instabilité dans leurs activités quotidiennes ou sportives et qui ont la volonté de retrouver une fonctionnalité optimale du genou choisissent l'option thérapeutique chirurgicale. Dès lors, une équipe structurée avec une stratégie spécifique doit se coordonner. Les objectifs sont de limiter les risques de re-rupture de la plastie et d'augmenter les chances de chaque patient de reprendre l'ensemble de ses activités, au même niveau qu'avant la lésion. Seulement 60 % des sportifs non professionnels atteignent ce dernier objectif.

Objectifs de l'étude. – Évaluer une stratégie de réhabilitation composée de séances de rééducation et d'évaluations régulières basées sur la récupération des acquis fonctionnels de chacun. La planification et la coordination du suivi de chaque patient puis l'analyse et l'explication des résultats de chaque évaluation offrent plusieurs intérêts : le premier est le repérage des patients dont la récupération segmentée présente une anomalie susceptible d'être à l'origine de futurs patterns de compensation ; le deuxième est d'influer sur les facteurs psychosociaux, essentiellement la gestion du stress.

Hypothèse. – Notre hypothèse est que l'information et l'éducation constantes dispensées tout au long du processus puissent augmenter le niveau de compétence des patients et leur permettre d'appliquer, au quotidien, les conseils dispensés. Notre objectif est que chaque sujet soit capable de gérer le moment risqué du retour sur le terrain.

Résultats. – À 6 mois post-ligamentoplastie, tous les patients de l'échantillon ont repris leurs activités professionnelles sans adaptation et tous envisagent de reprendre leurs activités

MOTS CLÉS

Ligamentoplastie du ligament croisé antérieur
 Réhabilitation
 Évaluations fonctionnelles
 Test isocinétique
 Re-rupture

KEYWORDS

Ligamentoplasty
 Anterior cruciate ligament repair
 Rehabilitation
 Functional assessment
 Isokinetic test
 Secondary tear

sportives sur le terrain, de manière progressive, raisonnée et sécurisée. À 12 mois, aucune re-rupture n'a été suspectée ou signalée lors du suivi.

Conclusion. – Les résultats de cette étude montrent qu'intégrer le patient dans une stratégie de réhabilitation peut contribuer à mieux manager le retour sur le terrain et à limiter le risque de re-rupture.

Design de l'étude. – Il s'agit d'une étude rétrospective. Le niveau d'évidence est de III.

© 2019 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

SUMMARY

Background. – *Athletes who report knee instability during their daily or sports activities after a full-thickness tear of the anterior cruciate ligament generally request surgical repair. In this context, the structured care team has to institute a specific coordinated strategy. The goal is to limit the risk of secondary rupture of the ligamentoplasty and to increase the patient's chances of resuming former activities at an equivalent level. Only 60% of non-professional athletes reach this goal.*

Objectives. – *The purpose of this study was to evaluate a rehabilitation strategy based on specific exercises and regular evaluations of functional recovery. Exercise sessions were scheduled and coordinated on a patient-by-patient basis with analysis of functional assessment. This strategy presents several advantages: detection of anomalous segmental recovery that can be a source of compensation mechanisms; and identification of psychosocial factors, mainly involving the way the patient copes with stress. We hypothesized that the information and education delivered during the rehabilitation process would increase the patients' competency allowing them to benefit more from advice about their daily activities. Our objective was for each patient to be able to properly manage the riskful moment of returning to sports activities.*

Results. – *Six months after ligament repair, all patients in the study population had resumed their occupational activities without special adaptation. All planned to resume their sports activities in a reasonable progressive and safe manner. At 12 months, there were no reports of suspected or observed secondary tears.*

© 2019 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Auteur correspondant :

S. Abellana,

Service de kinésithérapie et réhabilitation fonctionnelle, centre hospitalier de la Haute-Senne, chaussée de Braine-49, Soignies, Belgique.

Adresse e-mail :

severine.abellana@chrhautesenne.be

INTRODUCTION

La rupture du ligament croisé antérieur du genou (LCA) est une des lésions les plus courantes. Elle survient, le plus souvent, lors de la pratique d'une activité sportive d'un niveau loisir ou professionnel, en compétition ou non, lors d'une réception de saut, de l'exécution de pivots ou de rotations [1]. Outre les facteurs de morbidité et leur impact financier, ces lésions peuvent significativement augmenter le risque de survenue prématurée d'arthrose du genou et d'autres lésions structurelles telles que celles des ménisques [2]. Si plusieurs options thérapeutiques existent, les sportifs qui présentent une instabilité du genou dans leurs activités quotidiennes plusieurs semaines après la lésion, qui évoluent dans des sports de contacts (sauts, pivots, changements de directions) et qui ont la volonté de recouvrer une fonctionnalité optimale du genou optent généralement pour l'option chirurgicale par reconstruction du LCA (RLCA).

Dès lors, une équipe structurée et coordonnée doit se constituer. Le chirurgien a pour principal objectif de maximaliser la stabilité du genou. Celle-ci doit ensuite permettre au kinésithérapeute, spécialisé en pratiques sportives, de planifier une réhabilitation spécifique et stratégique dans le but de restaurer puis d'optimiser la fonction du genou pour un niveau d'activité aussi performant que celui d'avant la lésion. Leur objectif commun est de diminuer drastiquement les risques de re-rupture de la plastie ; 50 % dans les deux premiers mois [3] et d'augmenter le nombre de sportifs qui retrouvent,

objectivement, leurs niveaux de pratique pré-lésionnels. En effet, certaines études indiquent que seulement 60 % des sportifs non professionnels et 83 % des sportifs professionnels retrouvent une pratique sportive comparable [4].

Dans le but d'atteindre ces objectifs, plusieurs équipes scientifiques ont étudié les mécanismes de rupture du LCA lorsque celui-ci est soumis à des contraintes anormalement élevées. Dans 70 % des cas, ces lésions surviennent sans contact, lorsque le genou est soumis à des contraintes importantes alors que l'activation neuromusculaire est diminuée. Colby et al. [5] ont montré que le LCA est particulièrement sollicité lors d'accélération, de décélération et lors de changements de direction. D'autres équipes ont montré qu'un contrôle neuromusculaire altéré lors de certains gestes sportifs pouvait également significativement augmenter ces contraintes et soumettre le LCA à des risques majeurs de rupture. C'est le cas de l'augmentation des moments d'abduction de genou lors de réception de sauts [6].

Nous proposons dans cette étude d'évaluer une stratégie de réhabilitation des sportifs non professionnels ayant bénéficié d'une RLCA. Pour ce faire, chaque sportif était préalablement informé de l'importance de suivre assidument l'ensemble du processus de rééducation jusqu'à validation des critères de « retour au sport ». Ce processus était composé de séances de réhabilitation dont les axes de travail étaient neuromusculaire, musculaire et fonctionnel avec une progression vers la réalisation de mouvements sport-dépendants pour objectiver et diminuer l'utilisation de patterns aberrants, prédicteurs d'une

Tableau I. Critères d'inclusion et d'exclusion.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Hommes, de 18 à 50 ans	Absence d'au moins un critère d'inclusion
Première lésion du LCA, totale ou partielle	Indice de masse corporelle inférieur à 18 ou supérieur à 30
Bénéficiaire d'une reconstruction chirurgicale selon la technique principale « DIDT » utilisant les tendons Droit Interne et Demi-Tendineux. Un retour externe pouvait être réalisé dans certains cas	Avoir bénéficié d'une autre chirurgie des membres inférieurs, au cours des 6 derniers mois
Choisir de suivre la réhabilitation au sein du Pôle de l'Appareil Locomoteur	Réhabilitation interrompue avec ou sans raison médicale

seconde rupture du LCA [7]. Il était également composé d'évaluations régulières des acquis fonctionnels de chacun [8], de séances d'information et d'une optique d'éducation permanente de chaque patient. Ce travail concernait logiquement le genou opéré mais également le genou controlatéral à titre « préventif ».

En proposant cette stratégie, notre hypothèse était d'observer si la planification et la coordination du suivi de chaque patient puis l'analyse et l'explication des résultats de chaque évaluation pouvaient impacter le risque de re-rupture de la plastie. Deux questions étaient intéressantes : d'abord celle de savoir si cette stratégie permettait la détection de patient dont la récupération segmentée présentait une anomalie, susceptible d'être à l'origine de futurs patterns de compensation ; la deuxième était de savoir si l'information et l'éducation constantes dispensées tout au long du processus pouvaient améliorer la gestion du retour sur terrain par le patient, période durant laquelle le nombre de re-rupture est augmenté.

POPULATION

Échantillonnage

Tous les patients inclus ont suivi leur programme de réhabilitation au sein du Pôle de l'Appareil Neuro-Musculo-Squelettique, sous la supervision des deux kinésithérapeutes en charge de ces lésions. Tous deux sont spécialisés dans les pathologies survenant en milieux sportifs. Les critères d'inclusion et d'exclusion sont présentés dans le [Tableau I](#).

L'échantillon était constitué de 30 hommes adultes. Tous présentaient une première lésion du LCA survenue au cours des 12 derniers mois. L'âge moyen était de $29,5 \pm 8,4$ ans (moyenne \pm Déviation Standard (DS)). Pour 24 d'entre eux, le côté dominant était le droit et pour 21 d'entre eux, le côté droit était également le côté de la lésion.

Caractéristiques de la pratique sportive au sein de l'échantillon

Tous sont des sportifs non professionnels et 86,7 % pratiquaient en compétition un sport de contact ou de pivot avant la survenue de cette lésion ([Tableau II](#)).

Tableau II. Pratiques sportives.

Sport principal	Patient	Nombre d'heures d'entraînement par semaine
Compétition – Football, Rugby, Basket	20	$6,3 \pm 0,9$
Compétition – Tennis, Badminton	6	$5,2 \pm 1,5$
Pas de compétition – Running	4	$2,2 \pm 0,5$

Caractéristiques lésionnelles au sein de l'échantillon

Pour chaque patient dont l'examen clinique laissait suspecter une lésion du LCA, une imagerie par résonance magnétique (IRM) était réalisée. Son objectif était de confirmer ou d'infirmer cette lésion et de rechercher d'éventuelles lésions associées. Dans notre échantillon, 5 patients présentaient une lésion du LCA isolée. Les 25 autres avaient au moins une des lésions associées présentées dans le [Tableau III](#).

Lorsque l'œdème était résorbé et que les amplitudes articulaires étaient récupérées, le chirurgien planifiait l'itinéraire chirurgical. Pour certains patients, une ménissectomie partielle était réalisée simultanément, sans jamais modifier significativement les modalités du processus de réhabilitation. Aucune suture méniscale n'a été pratiquée au sein de cet échantillon.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

En postopératoire, aucune orthèse n'a été utilisée et la marche a été autorisée avec béquilles dès le premier jour. La première séance de réhabilitation ambulatoire a été planifiée le 5^e jour postopératoire ; chaque séance avait une durée variant de 1h00 à 1h30, en fonction de l'état clinique du patient. Les critères étaient de ne déclencher aucune douleur « anormale ou supplémentaire », de n'induire aucun gonflement supplémentaire et de respecter l'état de fatigue de chacun. Tous les patients ont été suivis sur la base de 60 séances de réhabilitation, deux fois par semaine, sous la supervision d'un kinésithérapeute. Ils ont été informés des conséquences potentielles

Tableau III. Lésions associées objectivées.

Lésions associées objectivées	Nombre de lésions objectivées par RMN
Contusion osseuse fémorale	13
Contusion osseuse tibiale	13
Fracture tibiale non déplacée	2
Lésion du ligament latéral interne	4
Chondropathie – grade 1	2
Chondropathies – grades 2 et 3	9
Lésion méniscale interne	9
Lésion méniscale externe	1

d'une prise de poids significative et ont été encouragés à considérer ce risque sans délai.

Processus de réhabilitation

Le processus de réhabilitation était divisé en quatre phases :

- la 1^{re} était axée sur le contrôle moteur à la marche, la récupération des amplitudes articulaires, précisément en extension et sur l'initiation du travail actif des muscles extenseurs et fléchisseurs du genou ;
- la 2^e était axée sur la récupération de la force musculaire, le travail de proprioception axial et de contrôle neuromusculaire du membre inférieur dans sa globalité ;
- la 3^e phase portait sur le travail de trottinement puis de course et des sauts pieds joints ;
- enfin, la 4^e abordait, spécifiquement et progressivement, les sauts unipodaux ainsi que les gestes sport-dépendants de chacun. C'est à l'issue de cette dernière phase que le patient pouvait prétendre à la validation des critères de « retour au sport » préalablement à tout retour sur le terrain et à condition d'absence de tout contact et de compétition les premiers mois.

Programmation des tests isocinétiques et mesures des couples de force musculaire

Le premier test isocinétique a été réalisé à l'issue de la deuxième phase de réhabilitation, à $12,9 \pm 1$ semaines post-ligamentoplastie. Le deuxième test a été réalisé à l'issue de la troisième phase de réhabilitation, à $18,8 \pm 1,3$ semaines post-ligamentoplastie et le troisième à l'issue de la quatrième phase de réhabilitation, en moyenne à $25,8 \pm 1,6$ semaines post-ligamentoplastie. Ces tests étaient inclus dans les évaluations fonctionnelles régulières 2, 3 et 4. Lorsqu'un patient pouvait prétendre à être évalué, l'évaluation était programmée sous une semaine et le test isocinétique l'était concomitamment. Le premier test isocinétique n'était jamais réalisé avant le 3^e mois post-ligamentoplastie pour respecter des temps de cicatrisation tissulaire. Ce paramètre primait sur la récupération de chaque patient.

Mesures des couples de force musculaire

Les trois tests isocinétiques ont été effectués dans des conditions identiques et reproductibles. Après avoir reçu une information sur leurs objectifs et leurs conditions de réalisation, chaque patient était invité à s'échauffer sur cycloergomètre stationnaire à 50 Watts, pendant 5 minutes. Le test était réalisé conformément aux recommandations techniques décrites par Logerstedt et al. [9]. L'appareillage employé était un dynamomètre Cybex (Humac), étalonné annuellement. À l'installation de chaque patient, un alignement de l'axe anatomique de l'articulation du genou et de l'axe de rotation du bras de levier était réalisé. Les effets de la gravité étaient ensuite corrigés. Pour la réalisation du test, les patients disposaient de deux essais avant d'effectuer les séries de test ; 3 répétitions à 60° par seconde ($^\circ/s$) et $240^\circ/s$ en mode concentrique. Les couples de force pour les muscles extenseurs (PT extenseurs) et fléchisseurs (PT fléchisseurs) étaient mesurés et enregistrés bilatéralement, leurs valeurs étaient présentées en Newton par mètre (N/m). Pour chaque groupe musculaire et chaque vitesse, le déficit de couple de force, entre côtés opérés et non opérés, était calculé en réalisant le rapport de ces deux valeurs.

Tableau IV. Tests composant les quatre évaluations fonctionnelles.

Évaluations fonctionnelles	Mesures, tests et questionnaires des quatre évaluations fonctionnelles
1 : à $3,8 \pm 0,9$ semaines post-ligamentoplastie	Mesures des amplitudes articulaires, test « Soulèvement actif et verrouillé de la jambe », test « Analyse du cycle de marche » et questionnaire KOOS
2 : à $12,9 \pm 1$ semaines post-ligamentoplastie	Mesures des amplitudes articulaires, test « Maintien d'un squat unipodal 5 s » et questionnaire KOOS
3 : à $18,8 \pm 1,3$ semaines post-ligamentoplastie	Mesures des amplitudes articulaires, test « Saut latéral unipodal », test « Réception de saut bipodal », test « Descente en flexion latérale » et questionnaire KOOS
4 : à $25,8 \pm 1,6$ semaines post-ligamentoplastie	Mesures des amplitudes articulaires, test « Saut latéral unipodal », test « Réception de saut bipodal », test « Descente en flexion latérale », test « Saut en longueur unipodal », test « Triple saut en longueur unipodal », test « Triple saut en longueur, croisé et unipodal », questionnaires KOOS et ACL-RSI

Programmation des évaluations fonctionnelles

Chaque phase de réhabilitation était validée par une évaluation fonctionnelle composée d'un ensemble de tests reconnus dans la littérature scientifique. Lorsqu'un patient était capable de remplir les critères d'évaluation, il était admissible à l'évaluation de fin de phase programmée sous une semaine. Le *Tableau IV* présente l'ensemble des tests réalisés pour chacune des quatre évaluations fonctionnelles.

Tests qui composent les évaluations fonctionnelles

Chaque test était réalisé conformément aux recommandations de la littérature scientifique qui en mentionnaient les modalités, les indicateurs de validité et de reproductibilité. Bolga et Kes-kula [10] ont montré que ces tests fonctionnels pouvaient être utilisés par les cliniciens pour obtenir des mesures fiables et reproductibles, dès que les modalités étaient strictement respectées. L'ensemble des tests a été réalisé tel que ceci a été décrit par Abellaneda et al. [11]. Cette description concerne les mesures d'amplitudes articulaires passives (ROM), le test « Soulèvement actif et verrouillé de la jambe (*Active Straight Leg Raise*) », les tests « Analyse du cycle de marche (Gait Biomechanics) » et « Maintien d'un squat unipodal 5 s (*Single leg Squat 5 s Hold Test*) », le test « Descente en flexion latérale (*Lateral Step Down*) » et le test « Réception de saut bipodal (*Jump Landing Test*) ». Pour l'ensemble des tests de sauts (« Test de saut latéral unipodal (*Side Hop Timing Test*) », « Test de saut en longueur unipodal (*Single Hop for distance Test*) », « Test de triple saut en longueur unipodal (*Triple Hop for distance Test*) », « Test de triple saut en longueur, croisé et unipodal (*Triple Crossover Hop for distance Test*) », les indications considérées étaient celles de l'équipe de Kyritsis et al. [3]. Une évaluation subjective a été également réalisée avec les questionnaires KOOS [12] et ACL-RSI [13].

Après chaque évaluation fonctionnelle, un rapport écrit a été édité puis envoyé au chirurgien. Les résultats étaient discutés individuellement et spécifiquement avec chaque patient et les objectifs de l'évaluation suivante étaient présentés et explicités.

Score de KOOS

La *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score* est l'addition des scores obtenus pour 5 items selon lesquels le patient évalue subjectivement son état par rapport à plusieurs facteurs psychosociaux. La somme des scores obtenus pour chaque item est réalisée avant d'être exprimée en pourcentage (formulation : $100 - ((\text{somme } S1-S5) \cdot 100/28)$). Cette opération est réalisée pour chaque individu avant la réalisation des séries statistiques. L'équipe de Reinke [14] a montré une corrélation de ce score avec les résultats fonctionnels des tests de sauts (hop tests), jusqu'au moins 2 ans post-ligamentoplastie. De ce fait, le suivi à 6 et 12 mois a été également effectué sur la base de ce questionnaire.

Score ACL-RSI

Le score ACL-RSI se compose de 12 questions dont l'objectif est d'évaluer l'impact de facteurs psychologiques sur le « retour au sport » après RLCA. Selon Webster et al. [13], il est fiable et présente une spécificité modérée (0,63) mais une grande sensibilité (0,97).

Il est intéressant de comparer ce score avec les mesures de critères objectifs lorsque les patients se situent entre 6 mois et 2 ans post-RLCA. Ce score a été intégré aux évaluations à 6 et 12 mois.

Évaluation ICF (classification internationale du fonctionnement, handicap et de la santé)

Cette classification apporte un cadre permettant d'organiser et de documenter des informations sur le fonctionnement et le handicap (OMS 2001). Dans cette étude, elle permet de caractériser l'évolution de certains paramètres fonctionnels et de les comparer dans le temps.

Analyses statistiques

Toutes les données ont été traitées avec le logiciel GraphPad InStat – 1.ISD.

La valeur moyenne était présentée avec la déviation standard (\pm DS), toutes deux ayant été calculées à l'aide de méthodes conventionnelles.

Le test U de Mann-Whitney a été utilisé pour le traitement des données indépendantes alors que le test de Wilcoxon a été utilisé pour le traitement des données dépendantes. La relation entre ces dernières a été étudiée en utilisant le coefficient de Spearman.

Une analyse de la variance (ANOVA, non paramétrique et Dunn post-Test) a été utilisée pour la comparaison d'une mesure répétée lors de plusieurs évaluations.

Le niveau de signification a été fixé pour une valeur de p inférieure ou égale à 0,05.

RÉSULTATS

Tests isocinétiques

Le *Tableau V* montre l'évolution du déficit de couple de force entre les côtés opéré et non opéré. C'est pour les muscles extenseurs que le déficit moyen initial est le plus important, à 60 °/s comme à 240 °/s, soit respectivement des déficits de $24,3 \pm 10,3$ % et $31,1 \pm 13,8$ %. À 240 °/s, le déficit de couple de force diminue significativement pour être inférieur à 10 % au 3^e test isocinétique ($p < 0,05$). À 60 °/s, la récupération du déficit des extenseurs n'est pas significative entre le 1^{er} et le 3^e test isocinétique. Pour autant, à 25,8 semaines post-RLCA, le déficit est inférieur à 15 %. Concernant les muscles fléchisseurs, la récupération du déficit de couple de force est significative entre les tests 1 et 3, à 60 °/s comme à 240 °/s ($p < 0,05$). À 25,8 semaines post-RLCA, la différence de couple de force entre les côtés opéré et non opéré est inférieure à 15 % dans les deux cas.

Évaluations fonctionnelles

Le *Tableau VI* montrent l'évolution de la récupération des amplitudes articulaires en flexion et en extension. L'extension du genou peut être considérée comme récupérée à 100 % dès la 2^e évaluation fonctionnelle. La flexion évolue plus lentement sur l'ensemble des 4 évaluations.

Le *Tableau VII* présente le résultat des tests fonctionnels, selon la classification ICF. À l'exception de 3 paramètres soulignés, 75 % des patients réalisent les tests « sans problème », c'est-à-dire sans compensation majeure soumettant le genou

Tableau V. Résultats des tests isocinétiques.

	Évaluation 2 12,9 ± 1 semaines	Évaluation 3 18,8 ± 1,3 semaines	Évaluation 4 25,8 ± 1,6 semaines	
240°/s – PT Extenseurs	24,3 ± 10,3	13,5 ± 7,5	9,4 ± 5,9	$p < 0,05$
Deficit côté opéré-non opéré, en pourcentage (%)				
60°/s – PT Extenseurs	31,1 ± 13,8	13,9 ± 12,3	11,7 ± 7,3	$p > 0,05$
Deficit côté opéré-non opéré, en pourcentage (%)				
240°/s – PT Fléchisseurs	14,1 ± 8,9	10,2 ± 8	7,5 ± 6,8	$p < 0,05$
Deficit côté opéré-non opéré, en pourcentage (%)				
60°/s – PT Fléchisseurs	19,3 ± 10,7	15 ± 10,3	10,9 ± 8	$p < 0,05$
Deficit côté opéré-non opéré, en pourcentage (%)				

Tableau VI. Récupération des amplitudes articulaires.

	Évaluation 1 3,8 ± 0,9 semaines	Évaluation 2 12,9 ± 1 semaines	Évaluation 3 18,8 ± 1,3 semaines	Évaluation 4 25,8 ± 1,6 semaines
Amplitude articulaire en extension (°)	- 2 ± 4,4	- 0,2 ± 1	0	0
Amplitude articulaire en flexion (°)	104,6 ± 13	127,2 ± 15,2	137,5 ± 13	144,4 ± 13,6

à des contraintes non contrôlées. Pour les autres patients, une large majorité présente un « léger problème » dans leur réalisation ce qui devra être considéré dès la séance de réhabilitation suivante. Pour ceux présentant des problèmes « modérés et sévères », les séances à venir devront se consacrer à la révision de cet apprentissage avant de franchir une nouvelle étape dans la réhabilitation.

Il est intéressant de remarquer que le « Contrôle du genou » et le « Contrôle lombo-pelvien » sont les paramètres qui limitent le plus ces derniers patients.

Le *Tableau VIII* montrent des résultats satisfaisants obtenus lors des tests de sauts. Les différences entre côtés opéré et non opéré sont toutes non significatives ($p > 0,05$).

Scores de KOOS et ACL-RSI à 25,8 semaines post-ACLR

Concernant le score de KOOS (*Tableau IX*), il est intéressant de constater que les symptômes et les douleurs évoluent progressivement et favorablement vers des scores maximaux, seulement à partir de la 4^e évaluation. Les items « activités, sports et loisirs » et « qualité de vie » évoluent également progressivement et favorablement mais de manière beaucoup plus lente, puisque lors de la 4^e évaluation, ces items n'atteignent respectivement que les scores de 48,1 % et 67,1 %. Enfin, il est intéressant de remarquer que l'item 3 (fonction, vie quotidienne) présente un pic d'amélioration à la 3^e évaluation, puis un recul à la 4^e. À 25,8 semaines post-RLCA, aucun item n'atteint le score maximum de 100 %.

D'ailleurs, le score ACL-RSI (*Tableau X*) présente un résultat d'un peu moins de 65 % à 25,8 semaines post-LCAR.

Scores de KOOS et ACL-RSI à 52 semaines

Le *Tableau XI* montrent l'évolution des scores KOOS et ACL-RSI entre l'évaluation 4 à 25,8 semaines post-ACLR et celle réalisée à 52 semaines. Sur l'échantillon initial de 30 patients, seuls 17 d'entre eux ont répondu au suivi effectué par correspondance. Parmi eux, aucun n'a fait l'objet d'une nouvelle consultation chirurgicale pour « suspicion d'une re-rupture » de la plastie. Tous ont repris leur activité professionnelle qui était la leur avant la lésion et ceci sans adaptation. Trois d'entre eux ne pratiquaient pas initialement de compétition sportive, à l'inverse des 14 autres. Parmi ces derniers, un seul n'a pas repris les compétitions. Il est intéressant de remarquer qu'à 52 semaines, aucun item n'a encore atteint le score maximal de 100 %.

DISCUSSION

La reconstruction chirurgicale du LCA associée à une réhabilitation fonctionnelle spécifique est actuellement le traitement de référence pour un patient dont l'objectif est de recouvrer une stabilité optimale du genou et de pratiquer, à nouveau, ses activités sportives à un niveau au moins équivalent à celui d'avant la rupture. S'il est désormais bien accepté dans la littérature que la réhabilitation joue un rôle essentiel dans cette récupération fonctionnelle, celle-ci n'est pas optimale durant plusieurs mois, voire plusieurs années [15] et le résultat final n'est pas systématiquement satisfaisant pour l'ensemble des patients. Seulement 60 % des sportifs non professionnels retrouvent un niveau d'activité comparable à celui d'avant la lésion contre 83 % des sportifs professionnels [4].

Tableau VII. Tests fonctionnels.

	Évaluation 1			
	ICF évaluation « 0 » « pas de problème »	ICF évaluation « 1 » « léger problème »	ICF évaluation « 2 » « problème modéré »	ICF évaluation « 3 » « problème sévère »
Soulèvement actif et verrouillé de la jambe (<i>Active Straight Leg Raise Test</i>)	92,3 % des patients	7,7 % des patients	0	0
Analyse du cycle de marche (<i>Gait biomechanics Test</i>)	84,7 % des patients	11,5 % des patients	3,8 % des patients	0
	Évaluation 2			
	ICF évaluation « 0 » « pas de problème »	ICF évaluation « 1 » « léger problème »	ICF évaluation « 2 » « problème modéré »	ICF évaluation « 3 » « problème sévère »
Maintien d'un squat unimodal 5 s (<i>Single Leg Squat 5 sec Hold Test</i>)	90 % des patients	10 % des patients	0	0
Impression générale	90 % des patients	10 % des patients	0	0
Transfert du poids du corps	90 % des patients	10 % des patients	0	0
Alignement du bassin	66,7 % des patients	33,3 % des patients	0	0
Alignement du membre inférieur	76,7 % des patients	23,3 % des patients	0	0
Alignement des pieds	90 % des patients	10 % des patients	0	0
	Évaluation 3			
	ICF évaluation « 0 » « pas de problème »	ICF évaluation « 1 » « léger problème »	ICF évaluation « 2 » « problème modéré »	ICF évaluation « 3 » « problème sévère »
Réception de saut bipodal (<i>Jump landing Test</i>)	88,9 % des patients	11,1 % des patients	0	0
Largeur d'écartement hanche-cheville	100 % des patients	0	0	0
Rotation maximum des pieds	83,3 % des patients	16,7 % des patients	0	0
Symétrie des pieds au contact sol	77,8 % des patients	16,7 % des patients	5,5 % des patients	0
Flexion latérale du tronc	88,9 % des patients	11,1 % des patients	0	0
Largeur d'écartement initiale des pieds	88,9 % des patients	11,1 % des patients	0	0
Flexion de genou au contact sol initial	88,9 % des patients	11,1 % des patients	0	0
Flexion de genou dans le mouvement	88,9 % des patients	11,1 % des patients	0	0
Flexion de hanche au contact sol initial	88,9 % des patients	11,1 % des patients	0	0
Alignement genou-pieds	88,9 % des patients	11,1 % des patients	0	0
Descente en flexion latérale (<i>Lateral Step Down Test</i>)	ICF évaluation « 0 » « pas de problème »	ICF évaluation « 1 » « léger problème »	ICF évaluation « 2 » « problème modéré »	ICF évaluation « 3 » « problème sévère »
Équilibre dynamique du côté opéré	77,8 % des patients	16,7 % des patients	5,5 % des patients	0
Contrôle lombopelvien côté opéré	66,7 % des patients	22,7 % des patients	11,1 % des patients	0
Valgus et rotation interne du genou côté opéré	83,3 % des patients	11,2 % des patients	0	5,5 % des patients
Pronation de la cheville du côté opéré	94,5 % des patients	5,5 % des patients	0	0
	Évaluation 4			
	ICF évaluation « 0 » « pas de problème »	ICF évaluation « 1 » « léger problème »	ICF évaluation « 2 » « problème modéré »	ICF évaluation « 3 » « problème sévère »
Descente en flexion latérale (<i>Lateral Step Down Test</i>)	80 % des patients	16 % des patients	4 % des patients	0
Équilibre dynamique du côté opéré	72 % des patients	12 % des patients	16 % des patients	0
Contrôle lombopelvien côté opéré	84 % des patients	12 % des patients	4 % des patients	0
Valgus et rotation interne du genou côté opéré	96 % des patients	4 % des patients	0	0
Pronation de la cheville du côté opéré				

Précédemment, le succès d'une première reconstruction était mesuré selon la vitesse à laquelle le sportif effectuait son « retour au sport ». Or, plusieurs équipes ont mis en évidence qu'une reprise précoce des activités est un des facteurs de

risque majeur pour la survenue d'une re-rupture de la plastie. Ce risque est particulièrement important lors des deux premiers mois et plus largement durant la première année post-RLCA, notamment lorsque le sportif effectue son « retour au

Tableau VIII. Tests des sauts.

		Évaluation 3		
Test de saut latéral unipodal (<i>Side Hop Timing Test</i>)		Gauche	Droit	
(en secondes, s)		11,3 ± 3,5	10,8 ± 3,5	$p > 0,05$
		Évaluation 4		
Test de saut latéral unipodal (<i>Side Hop Timing Test</i>)		Gauche	Droit	
(en s)		11,7 ± 6,7	11,7 ± 6,6	$p > 0,05$
Saut en longueur univocal (<i>Single Hop Distance Test</i>)		Gauche	Droit	
(en centimètres, cm)		141,3 ± 21,3	142,6 ± 24,6	$p > 0,05$
Triple sauts unipodaux (<i>Triple Hop Distance Test</i>)		Gauche	Droit	
(en cm)		425,4 ± 140,1	454 ± 103,7	$p > 0,05$
Triple sauts unipodaux croisés (<i>Triple Crossover Test</i>)		Gauche	Droit	
(en cm)		417,1 ± 96	430,6 ± 89,2	$p > 0,05$

Tableau IX. Scores de KOOS.

KOOS	Évaluation 1 3,8 ± 0,9 semaines	Évaluation 2 12,9 ± 1 semaines	Évaluation 3 18,8 ± 1,3 semaines	Évaluation 4 25,8 ± 1,6 semaines
Symptômes	–	55,4 ± 21,9	76,2 ± 9,2	90,5 ± 11,9
Douleurs	–	63,7 ± 9,9	88,3 ± 5,4	86,6 ± 12,7
Fonction, vie quotidienne	–	65,2 ± 29,4	93,6 ± 3,7	86,5 ± 9,1
Activités, sports et loisirs	–	31,9 ± 36,2	47,9 ± 18	48,1 ± 29,3
Qualité de vie	–	32,1 ± 20,5	36,3 ± 24,7	67,1 ± 24,2

Tableau X. Score ACL-RSI.

ACL-RSI score (en %)	–	–	–	64,9 ± 18,7
----------------------	---	---	---	-------------

Tableau XI. Comparatifs des scores de KOOS et ACL-RSI à 25,8 et 52 semaines post-RLCA.

KOOS	25,8 ± 1,6 semaines	52 semaines
Symptômes	90,5 ± 11,9	93,7 ± 12,5
Douleurs	86,6 ± 12,7	98,5 ± 2,5
Fonction, vie quotidienne	86,5 ± 9,1	99,2 ± 1,4
Activités, sports et loisirs	48,1 ± 29,3	90,6 ± 7,5
Qualité de vie	67,1 ± 24,2	87,5 ± 20,9
ACL-RSI (%)	64,9 ± 18,7	84,8 ± 15,1
Échantillon	$n = 30$	$n = 17$
Autres évolutions atypiques	2 patients douloureux en flexion (IRM et examens fonctionnels sans particularité)	1 lésion méniscale reprise
		1 zone kystique nettoyée
		2 patients douloureux en flexion (IRM-Examens sans particularité)

sport ». Paterno et al. [16] ont montré des asymétries mécaniques entre les deux membres inférieurs lors de la réception de sauts jusqu'à 2 ans après le « retour au sport ». Outre les asymétries de fonctionnement, d'autres facteurs de risque ont été identifiés : une récupération incomplète des amplitudes articulaires [17], la persistance d'une faiblesse des muscles extenseurs et fléchisseurs du genou [18], des patterns anormaux de mouvements [19] et plus globalement, la perte de fonctionnalité du genou [20]. À la marche, Gao et Zheng [21] ont rapporté une cinématique altérée jusqu'à 3 mois post-RLCA. Gokeler et al. [22] ont mis en évidence des altérations cinématiques lors de la marche et lors de la réception de sauts unipodaux, jusqu'à 12 mois post-RLCA.

Le suivi de chaque patient par des évaluations fonctionnelles régulières a deux objectifs :

- le premier est de soutenir chaque patient durant ce long processus de réhabilitation par la validation progressive d'acquis fonctionnels et la perspective de nouveaux objectifs [11] ;
- le second est d'identifier régulièrement des mécanismes sous-jacents, susceptibles de contribuer à des déficits persistants. Un résultat intéressant est celui de Dingenen et Gokeler [23]. Cette équipe a montré que les résultats d'évaluations fonctionnelles contrastaient avec la perception du patient. Dans notre étude, si tous les patients sont autonomes dans leurs déplacements lors de la première évaluation, les résultats fonctionnels montrent que 15,3 % d'entre eux présentent pourtant un contrôle moteur de la marche, légèrement ou modérément altéré. Un travail spécifique doit être mis en place pour normaliser ce paramètre avant d'entamer la phase suivante du processus. Une discussion comparable existe au sujet de la récupération incomplète de l'extension du genou qui touche 2 à 11 % des patients dans la littérature. Quelle que soit l'étiologie de cette dernière, la perte d'extension est susceptible d'impacter défavorablement la cinématique de marche et d'autres paramètres tels que la récupération de la force musculaire [24]. Dans notre étude, la récupération de l'extension est complète dès la première évaluation pour une majorité de patients. Pour les autres, un travail spécifique est proposé avant de poursuivre le processus dans le but d'éviter la mise en place de patterns de compensations.

Le niveau de récupération musculaire est approché grâce à 3 tests isocinétiques quantifiant les déficits et les déséquilibres de force musculaire [25]. À 6 mois post-RLCA, les auteurs s'accordent sur un déficit de récupération compris entre 10 et 15 % [3,26]. Dans notre étude, le déficit des extenseurs (240 °/s et 60 °/s) est inférieur à 12 % à 25,8 semaines post-RLCA. Il en est strictement de même pour le déficit des fléchisseurs ; ces résultats sont en accord avec la littérature. L'équipe de Withrow [27] a montré qu'un suivi de la récupération des couples de force musculaire et de la récupération d'un équilibre entre les côtés opéré et non opéré permettait de moduler les contraintes sur la plastie ligamentaire. Comparativement, l'étude de Weinhandl [28] montre que le suivi de la récupération de la force musculaire et l'identification des déficits potentiels sont deux des paramètres à considérer pour contribuer à diminuer les contraintes et les risques de re-rupture du LCA. Cette équipe a démontré que ce dernier peut subir une augmentation des contraintes de près de 36 % dans les déficits d'ischiojambiers les plus sévères. D'autres études ont montré l'implication de la récupération musculaire pour maximiser les résultats fonctionnels défailants. Ainsi,

l'équipe de Hewett [6] a mis en évidence des moments d'abduction de genou augmentés et de fait, un contrôle moteur du genou altéré. D'autres ont montré qu'en l'absence d'une récupération musculaire optimale, l'autorisation d'un « retour au sport » à 4 mois, avec des réceptions de sauts non maîtrisées, peut significativement augmenter le risque de rupture de la plastie ou accélérer le processus arthrosique [29].

Les évaluations régulières proposées permettaient également de séquencer la récupération fonctionnelle. La première phase de travail visait une récupération de la fonctionnalité du genou à la marche. L'extension du genou devait être complète et le verrouillage actif devait être acquis avant de permettre le passage vers la phase de réhabilitation suivante. Dans notre étude, cette première évaluation a permis de détecter 3,8 % des patients pour lesquels l'analyse du cycle de marche présentait un « problème modéré », ne permettant pas d'évoluer vers des exercices plus complexes, sans risque majoré sur la plastie. Ces patients ont alors bénéficié de sessions de réhabilitation adaptées pour ré-apprendre à contrôler ce geste, avant tout autre progression. Il en a été de même pour l'ensemble des paramètres lorsque ceux-ci ne présentaient pas un score 0. Ces modalités de travail ont permis, lors des tests de sauts impliquant un contrôle neuromusculaire complexe, d'obtenir des résultats comparables entre les côtés opéré et non opéré pour une large majorité de patients. Un autre intérêt de ce travail séquencé était d'impliquer activement chaque patient en lui dispensant une information relative aux différentes phases de progression. Cette stratégie basée sur la mise en place d'objectifs, permet de contribuer à ce que le patient puisse mieux gérer son quotidien et, à terme, le retour sur le terrain. D'ailleurs, l'équipe de Te Wierike [30] a montré qu'il existait une relation positive entre l'établissement d'objectifs, leur supervision et le résultat de la réhabilitation. L'autonomisation du patient informé et capable d'assimiler toutes les informations en serait une raison.

D'autres paramètres peuvent encore impacter le retour sur le terrain. En 2018, Burland et al. [31] ont suggéré que, si les critères fonctionnels et ceux de la récupération des équilibres musculaires étaient essentiels, l'impact de facteurs psychosociaux ne pouvait plus être ignoré et ceci dès le début du processus de réhabilitation. C'est le cas, par exemple, de l'hésitation à réaliser certains mouvements, du manque de confiance, de la crainte de se re-blessé. En effet, l'évolution des 5 items du score de KOOS montre qu'à 25,8 semaines post-RLCA, ces derniers n'ont pas atteint leur maximum de 100 %. Si l'item « symptômes » présente un score supérieur à 90 % de récupération, ceux des « douleurs » et la « fonction, vie quotidienne » présentent des résultats compris entre 85 et 90 % de récupération. L'item « qualité de vie » présente un score de 67 % et celui de la récupération du confort dans « les activités sportives et loisirs » un score de seulement 48 % à près de 6 mois. D'ailleurs, le score ACL-RSI approche difficilement les 65 % à ce même stade.

Ces résultats montrent que si à 25,8 semaines post-RLCA, les bases de la récupération musculaire et d'un contrôle neuromusculaire peuvent présenter une récupération bilatérale théoriquement optimale, il n'en est pas moins vrai que l'ensemble des patients n'est pas disposé à reprendre en « toute confiance » toutes les activités. Une période d'adaptation sur le terrain est pour le moins nécessaire. C'est encore davantage le cas lorsque les gestes sportifs comportent de la vitesse, des accélérations-décélérations ou des changements de direction tels les « *sidestep cutting* » [5].

Les évaluations à 52 semaines de 17 patients de l'échantillon initial ont montré que les scores de chaque item de KOOS et ACL-RSI continuent encore d'évoluer vers les 100 %. Pour autant, si tous ont repris les entraînements sportifs, tous n'ont pas encore repris la compétition. Une précision importante est que parmi ces 17 patients, aucun ne présente de plainte ou de signe clinique qui laisserait suspecter une re-rupture ou même une complication limitante.

Pour contribuer à expliquer ces résultats, il est intéressant de réfléchir aux changements qu'entraîne un passage des conditions de réhabilitation vers celles d'une reprise sur terrain sportif. Dans le premier cas, les séances sont planifiées, les mouvements sont expliqués puis réalisés lentement, sans pression extérieure et ceux-ci sont le plus souvent unidirectionnels. L'environnement est clos et la charge cognitive est généralement relativement limitée. Ainsi, bon nombre de conditions sont réunies pour qu'un travail avec concentration, application et implication puisse se faire en toute sécurité. Lors de la reprise des activités sur le terrain, l'environnement est modifié et celui-ci nécessite très probablement d'être appréhendé, par exemple, en termes de repérage dans l'espace et plus largement au plan proprioceptif. La charge cognitive est certainement augmentée et la pression de l'équipe, bien que positive, peut contribuer à augmenter une forme de mise sous pression alimentée par la volonté de revenir à une pratique sportive. Les mouvements à réaliser ne sont plus unidirectionnels mais multidirectionnels et les conditions de réalisation ne sont plus aussi sécurisantes. Ces conditions s'ajoutent d'ailleurs à celles qui ont documenté des modifications du contrôle neuromoteur, plus précisément des afférences sensorielles et des efférences corticospinales, susceptibles de persister 18 à 24 mois après LCAR. Ces paramètres peuvent certainement contribuer à expliquer les scores de KOOS et ACL-RSI non maximaux à 6 et 12 mois et, de fait, un retour à la compétition non systématique dans ce délai.

En 2017, l'équipe de Ivarsson [32] a montré que les facteurs psychosociaux pouvaient influencer le risque de blessure ; parmi ceux-ci, la réponse au stress d'un individu. Pour intervenir sur ce facteur, cette équipe propose d'éduquer chaque patient pour accroître la compréhension des gestes à contrôler pour gérer une nouvelle situation. Pour atteindre cet objectif, cette même équipe a montré l'intérêt d'une stratégie de réhabilitation éducative et sécurisante avec des objectifs de progression SMART (spécifique, mesurable, réaliste, réalisable et dans un cadre temporel limité). En 2016, l'équipe d'Arden [33] a d'ailleurs montré toute la difficulté d'appréhender un nouvel environnement tel qu'une situation susceptible d'être celle du terrain d'entraînement. Selon ces études, objectiver la progression de chaque sportif induit l'augmentation de nouvelles compétences et peut contribuer à améliorer l'habileté et la volonté de chacun à se projeter dans de nouvelles situations comme c'est le cas d'un retour au sport, sur le terrain, dans les conditions qui caractérisent celui-ci.

Il semble désormais incontournable d'intégrer dans la stratégie de réhabilitation l'évaluation régulière d'objectifs SMART, séquençant la récupération trophique, musculaire et neuromotrice mais également l'éducation et l'information de chaque patient, l'objectif étant de lui conférer les compétences nécessaires pour être le plus autonome possible pour poursuivre sa réhabilitation dans un nouveau cadre qu'est celui du terrain. Si l'espace est une dimension, le temps en est une autre puisque

pour une majorité de tissu la cicatrisation s'effectue sur une période qui s'étend jusqu'à 24 mois après ligamentoplastie, période qui ne peut pas aisément être couverte par l'accompagnement kinésithérapeutique.

CONCLUSION

Le processus de réhabilitation proposé base ses fondations sur les facteurs de risque de re-rupture de la plastie après une première ligamentoplastie, chez des sportifs non professionnels. Il se compose de sessions de réhabilitation axées sur la récupération des amplitudes articulaires, de l'équilibre des couples de force musculaire, du contrôle neuromusculaire global et de la confiance à re-solliciter le genou opéré dans des gestes fonctionnels. Il se compose également de sessions d'information et d'éducation. L'évolution des sessions de réhabilitation doit permettre à chacun de valider régulièrement des évaluations fonctionnelles en fonction de critères de récupération de la fonctionnalité du genou et, par conséquent, du stade de cicatrisation tissulaire.

Cette stratégie présente deux intérêts majeurs : le premier est de permettre la détection puis la prise en charge adaptée, dans un délai théoriquement raisonnable, des patients dont la récupération segmentée présente une anomalie ; le deuxième est de permettre d'influer sur certains facteurs psychosociaux, essentiellement la gestion du stress par une information et une éducation constantes et progressives, susceptibles d'apporter à chaque patient, un niveau de compétence qui lui permet de s'impliquer dans le processus, d'impacter son quotidien par l'application des conseils et de fait, de mieux gérer le retour sur terrain. Le manque de confiance, occasionné ou occasionnant un stress est corrélé avec le risque de re-rupture et probablement avec une limitation de la reprise des activités sportives, au même niveau que celui d'avant la rupture initiale.

Après une année de suivi, aucune re-rupture n'a été enregistrée alors que les sportifs suivis s'apprentent à reprendre la compétition.

Les résultats de cette étude montrent qu'intégrer le patient dans une stratégie de réhabilitation peut contribuer à mieux manager le retour sur terrain et de fait, à limiter le risque de re-rupture.

Ensemble,

« Nous approuvons la soumission de cet article au « Journal de Traumatologie du Sport » pour publication. Nous confirmons que ni le manuscrit, ni aucune partie de celui-ci n'a été publié ou n'est envisagé de le voir publié ailleurs. Nous confirmons que le document a été lu et approuvé par tous les auteurs ».

Remerciements

Les auteurs remercient tous les membres du Pôle de l'Appareil Neuro-Musculo-Squelettique ainsi que le Dr Payen pour leurs soutiens au cours de ce long processus d'étude.

Éthiques

Les auteurs ont reçu l'accord du Comité d'Éthique du CHR Haute-Senne de Soignies en Belgique et ont respecté, en toutes circonstances, la loi relative aux Droits du Patient. L'étude originale présentée est également en accord avec les recommandations de la Déclaration d'Helsinki de 1975.

Financement

Aucun avantage ou fond n'a été reçu pour soutenir cette étude.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Nagelli CV, Hewett TE. Should return to sport be delayed until two years after ACLR? Biological and functional considerations. *Sports Med* 2017;47(2):221–32.
- [2] Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of ACL and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med* 2007;35:1756–69.
- [3] Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med* 2016;0:1–7.
- [4] Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, et al. Fifty-five per cent return to competitive sport following ACLR surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med* 2014;48:1543–52.
- [5] Colby S, Francisco A, Yu B, Kirkendall D, Finch M, Garrett W. Electromyographic and kinematic analysis of cutting maneuvers. Implications for ACL injury. *Am J Sports Med* 2000;28:234–40.
- [6] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict ACL injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med* 2005;33:492–501.
- [7] Myer GD, Brent JL, Ford KR, Hewett TE. Real-time assessment and neuromuscular training feedback techniques to prevent ACL injury in female athletes. *Strength Cond J* 2011;33:21–35.
- [8] Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after ACLR. *Arthroscopy* 2011;27:1697–705.
- [9] Logerstedt D, Snyder-Mackler L, Ritter R, Axe M, Godges J. Knee stability and movement coordination impairments: knee ligament sprain. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010;40:A1–37.
- [10] Bolgla LA, Keskula DR. Reliability of lower extremity functional performance tests. *J Orthop Sport Phys Ther* 1997;26:3.
- [11] Abellaneda S, Baillon B, Descamps PY, Florentz D, Gailly O, Vancabeke M. Ligament croisé antérieur du genou : comment améliorer la compliance des sportifs non professionnels à suivre le processus de réhabilitation jusqu'à validation des critères de « retour au sport » et contribuer à diminuer le risque de re-rupture de la plastie ? *J Traumatol Sport* 2019;36(1):3–11.
- [12] Roos EM, Toksvig-Larsen S. Knee injury and osteoarthritis outcome score (KOOS) – validation and comparison to the WOMAC in total knee replacement. *Health Qual Life Outcomes* 2003;1:17.
- [13] Webster KE, Feller A, Lambros C. Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following ACLR surgery. *Phys Ther Sport* 2008;9:9–15.
- [14] Reinke E, Spindler KP, et al. Hop tests correlate with IKDC and KOOS at minimum of 2 years after primary ACLR. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19(11):1806–16.
- [15] Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following ACLR surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 2011;45:596–606.
- [16] Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following ACLR. *Clin J Sport Med* 2007;17:258–62.
- [17] Shelbourne KD, Gray T. Minimum 10-year results after anterior cruciate ligament reconstruction: how the loss of normal knee motion compounds others factors related to the development of osteoarthritis after surgery. *Am J Sports Med* 2009;37:471–80.
- [18] Schmitt LC, Paterno MV, Hewett TE. The impact of quadriceps femurs strength asymmetry on functional performance at return to sport following ACLR. *J Ortho Sports Phys Ther* 2012;42:750–9.
- [19] Roewer BD, Di Stasi SL, Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and weight acceptance strategies continue to improve two years after ACLR. *J Biomech* 2011;44:1948–53.
- [20] Logerstedt D, Lynch A, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Symmetry restoration and functional recovery before and after ACLR. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21(4):859–68.
- [21] Gao B, Zheng NN. Alterations in three-dimensional joint kinematics of ACL-deficient and reconstruction knees during walking. *Clin Biotech* 2010;25:222–9.
- [22] Gokeler A, Hof AL, Arnold MP, Dijkstra PU, Postema K, Otten E. Abnormal landing strategies after ACLR. *Stand J Med Sci Sports* 2010;20:12–9.
- [23] Dingenen B, Gokeler A. Optimization of the return-to-sport paradigm after anterior cruciate ligament reconstruction: a critical step back to move forward. *Sports Med* 2017;47(8):1487–500.
- [24] Millett PJ, Wickiewicz TL, Warren RF. Motion loss after ligament injuries to the knee Part 1: causes. *Am J Sports Med* 2001;29:664–75.
- [25] Croisier JL, Malnati M, Reichard LB, Peretz C, Dvir Z. Quadriceps and hamstring isokinetic strength and electromyographic activity measured at different ranges of motion: a reproducibility study. *J Electromyogr Kinesiol* 2007;17(4):484–92.
- [26] Neeter C, Gustavsson A, Thomeé P, Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14(6):571–80.
- [27] Withrow TJ, Huston LJ, Wojtyls EM, Ashton-Miller JA. Effect of varying hamstring tension on ACL strain during in vitro impulsive knee flexion and compression loading. *J Bone Joint Surg* 2008;90:815–23.
- [28] Weinhandl JT, Earl-Boehm JE, Ebersole KT, Huddleston WE, Armstrong BSR, O'Connor KM. Reduced hamstring strength increases ACL loading during anticipated sidestep cutting. *Clin Biomech* 2014;29(7):752–61.
- [29] Deneweth JM, Bey MJ, McLean SG, Lock TR, Kolowich PA, Tashman S. Tibiofemoral joint kinematics of the ACL knee during a single-legged hop landing. *Am J Sports Med* 2010;38(9):1820–8.
- [30] Te Wierike SC, Van Der Sluis A, Van Den Akker-Scheek I, Visscher C. Psychosocial factors influencing the recovery of athletes with ACL injury: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 2013;23:527–40.
- [31] Burland JP, Toonstra J, Werner JL, Mattacola CG, Howell DM, Howard JS. Decision to return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction Part I: a qualitative investigation of psychosocial factors. *J Athl Train* 2018;53(5):452–63.
- [32] Ivarsson A, Johnson U, Andersen MB, Tranaeus U, Stenling A, Lindwall M. Psychosocial factors and sport injuries: meta-analyses for prediction and prevention. *Sports Med* 2017;47:353–65.
- [33] Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, et al. Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy. *Br J Sports Med* 2016;50:853–64.