



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation
Département Masso-Kinésithérapie

Mémoire N°1561

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'Etat en Masso-Kinésithérapie

par

Lippolis Lucas

**La prévention des entorses du ligament croisé
antérieur par la préparation physique en ski alpin
chez les skieurs de loisir : un protocole d'essai
contrôlé randomisé**

*Prevention of anterior cruciate ligament tear by physical training in recreational alpine skiers:
a randomized control trial protocol*

Directeur de mémoire
Geronimi Marie

ANNEE 2018/2019
Session 1

Membres du jury

Geronimi Marie

Rogowski Isabelle

Faudon Marie-Christine

Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation
Département Masso-Kinésithérapie

Mémoire N°1561

Mémoire d'initiation à la recherche en Masso-Kinésithérapie

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'Etat en Masso-Kinésithérapie

par

Lippolis Lucas

**La prévention des entorses du ligament croisé
antérieur par la préparation physique en ski alpin
chez les skieurs de loisir : un protocole d'essai
contrôlé randomisé**

*Prevention of anterior cruciate ligament tear by physical training in recreational alpine skiers:
a randomized control trial protocol*

Directeur de mémoire
Geronimi Marie

ANNEE 2018/2019
Session 1

Membres du jury

Geronimi Marie

Rogowski Isabelle

Faudon Marie-Christine

Président
Frédéric FLEURY

Vice-président CA
REVEL Didier

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie
Directeur
BOURGEOIS Denis

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directrice
BURILLON Carole

Institut des Sciences Pharmaceutiques et
Biologiques
Directrice
VINCIGUERRA Christine

Département de Formation et
Centre de Recherche en Biologie
Humaine
Directeur
SCHOTT Anne-Marie

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
PERROT Xavier

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
COCHAT Pierre



Institut Sciences et Techniques de Réadaptation Département MASSO-KINESITHERAPIE

Directeur ISTR
Xavier PERROT

Equipe de direction du département de masso-kinésithérapie :

Directeur de la formation
Franck GREGOIRE

Responsables des travaux de recherche
Samir BOUDRAHEM

Référents d'années
Geneviève SANSONI
Ilona BESANCON
Dominique DALLEVET
Samir BOUDRAHEM

Référents stages cycle 1
Annie KERN-PAQUIER

Référents stages cycle 2
Franck GREGOIRE

Secrétariat de direction et de scolarité
Pascale SACCUCI
Julie FERRER

Remerciements

Je remercie le jury du temps consacré à l'étude de ma soutenance de dernière année d'études au sein de l'Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation (ISTR) de Lyon.

Je remercie ma directrice de mémoire qui m'a accompagné et soutenu pendant près d'un an. Votre expérience et vos conseils tout au long de l'année ont été précieux. Merci sincèrement du temps que vous m'avez consacré.

Enfin, je remercie mes collègues de promotion, mes amis, ma famille et ma copine pour m'avoir accompagné et supporté pendant la rédaction de ce travail.

Sommaire

Remerciements	4
Sommaire.....	5
Résumé.....	7
Abstract.....	8
Introduction	9
Situation d'appel	9
Epidémiologie	9
Prévention	11
Etat des lieux	12
Problématique	13
Rappels anatomiques et biomécaniques	14
Mécanismes des blessures en ski alpin	20
Programmes d'entraînement préventif dans d'autres sports	30
Matériel et méthodes.....	34
Type d'étude.....	34
Intervention.....	34
Population.....	44
Critères de jugement	46
Taille de l'échantillon	46
Recrutement et mise en place	47
Méthodes statistiques	48
Ethique	49
Conflits d'intérêt.....	49
Résultats	50
Critères de jugement	50

Contrôle des biais.....	50
Informations complémentaires.....	50
Discussion.....	52
Rappels	52
Programme d'entraînement.....	53
Validité externe.....	53
Validité interne.....	54
Implications pour l'avenir	55
Conclusion	58
Ce qu'apportera cette étude	58
Etudes complémentaires ultérieures	58
Bibliographie	60
Annexes	65
Annexe 1 : Définitions.....	66
Annexe 2 : Caractéristiques des programmes d'entraînement physique préventif des entorses du LCA étudiés en sport	67
Annexe 3 : Fiche d'inclusion.....	68
Annexe 4 : Fiche de suivi - Groupe contrôle.....	69
Annexe 5 : Fiche de suivi - Groupe interventionnel	70
Annexe 6 : Photos explicatives du programme d'entraînement.....	71
Annexe 7 : Consentement éclairé.....	79

Résumé

Introduction : Le ski alpin est une activité qui attire de plus en plus de personnes chaque année. L'entorse du ligament croisé antérieur (LCA) est la blessure la plus fréquente dans ce sport. Aucune étude n'a encore évalué de programme de prévention de cette blessure par la préparation physique spécifique en ski alpin chez les skieurs de loisir, et c'est donc l'objectif de cette étude.

Matériel et méthodes : L'étude sera un essai contrôlé randomisé multicentrique. L'intervention consistera à mettre en place un programme de préparation physique spécifique à la prévention des entorses du LCA chez des skieurs de loisirs. Chaque cabinet de masso-kinésithérapie de la région Auvergne-Rhône-Alpes sera invité à participer à l'étude. Les cabinets seront placés aléatoirement dans le groupe contrôle ou le groupe interventionnel. Les masseur-kinésithérapeutes (MK) recruteront les sujets, puis, ceux alloués au groupe interventionnel effectueront les trois premières séances du programme sous contrôle d'un MK afin de faire les séances suivantes (3 séances par semaines pendant 5 semaines, puis une séance en tant qu'échauffement avant chaque journée de ski) en autonomie.

Résultats : Le critère de jugement principal sera les taux d'entorses du LCA dans chaque groupe qui seront comparés grâce à un test du χ^2 pour groupes indépendants. Les critères de jugement secondaires seront le taux des autres blessures du membre inférieur et des autres blessures en général.

Discussion : Avant de lancer une étude telle que celle-ci, il sera indispensable de faire une étude pilote sur quelques cabinets de MK seulement. Une évaluation du rapport coût/bénéfice précise est indispensable pour évaluer la pertinence de la mise en place à grande échelle d'une mesure de prévention telle que celle-ci.

Conclusion : D'autres études seront nécessaires à l'avenir pour améliorer le programme de prévention mis en place ici en fonction des résultats qui seront obtenus. Ce protocole permet de proposer des perspectives d'avenir au niveau de la prise en charge préventive de la population, et de l'évolution des compétences des MK.

Mots clés : entorse du ligament croisé antérieur, préparation physique, masso-kinésithérapie, prévention, skieurs de loisir.

Abstract

Introduction : Alpine skiing is an activity which attract more and more people each year. Anterior cruciate ligament's (ACL) strain is the most frequent injury in this sport. No study has evaluated yet a prevention program of this injury by specific physical training in recreational alpine skiing. That's why this is the objective of this study.

Material and methods : The study will be a multicentric randomised controlled trial. The intervention will consist in developing and implement a physical training program specific to prevention of anterior cruciate ligament strain in recreational alpine skiers. Every physiotherapy office in Auvergne-Rhône-Alpes region will be invited to participate to the study. The offices will be allocated randomly in the control group or in the intervention group. Physiotherapists will recruit participants. Those of the intervention group will perform the tree first sessions of the program under supervision of a physiotherapist in order to do the other sessions (3 a week during 5 weeks, then a session as a warm-up before each day of skiing) in autonomy.

Résultats : The Primary outcome will be the rate of ACL strain in each group. It will be compared thanks to a χ^2 test for independent groups. Secondary outcomes will be the rate of others injuries located in inferior limbs, and the rate of others injuries in general.

Discussion : Before starting a study like this one, it'll be essential to do a pilote study with a few physiotherapist offices only. An accurate evaluation of cost/benefits ratio is essential to evaluate the pertinence of the implementation of a prevention measure like this one in a large scale.

Conclusion : Further studies will be necessary in the future to improve le prevention program developed here according to the results who will be obtained. This protocol permits to propose future perspectives concerning the prevention's care in the population, and evolution of physiotherapists abilities.

Keywords : anterior cruciate ligament's strain, physical training, physiotherapy, prevention, recreational skiers.

Introduction

Situation d'appel

Lorsque j'étais en seconde, j'ai effectué un stage d'une semaine chez un kinésithérapeute. Il se trouve que c'était juste avant les vacances de février, où j'allais faire du ski pour la première fois, invité par un ami. Ayant déjà vu des amis et de la famille rentrer blessés après des sorties aux sports d'hiver, j'ai interrogé mon maître de stage sur la façon dont je pouvais me préparer physiquement pour diminuer ce risque. En effet, faisant beaucoup de sport, j'ai toujours été intéressé par la préparation physique. Il m'a fait faire du travail de l'équilibre. Ma semaine s'est bien passée et en continuant le ski, je ne me suis jamais blessé. J'ai donc plus ou moins oublié cette interrogation. Néanmoins, j'ai encore vu des personnes de mon entourage se blesser. Et, plus récemment, lors d'un de mes stages en cabinet libéral, un kinésithérapeute m'a fait part du fait qu'il aurait aimé mettre en place dans son cabinet des séances de groupe, centrées sur la prévention en sports d'hiver par la préparation physique. Il apparaît donc que ce sujet de mémoire semble pertinent à traiter, au vu du nombre de gens que j'ai vu se blesser, de l'intérêt que portent à ce sujet de futurs collègues, et bien-sûr de mon intérêt personnel.

La question de recherche que j'ai pu dégager à partir de cette situation est la suivante :
La pratique d'un programme d'exercices physiques préventifs peut-elle permettre de diminuer le risque de blessures en ski alpin?

Epidémiologie

Les sports d'hiver sont des activités qui attirent de plus en plus de personnes au fil des années. Le recueil « Indicateurs et analyses 2017 » écrit par Domaines skiables de France nous apprend qu'en France, durant la saison 2016/2017, les sports de glisse ont totalisés 51,1 millions de journées skieurs (JS) (Annexe 1). C'est 10 millions de journées de plus qu'en 1990. Seuls les Etats-Unis et l'Autriche dépassent la France avec respectivement 54,7 et 52,1 millions de JS. Cela place la France comme la troisième plus grande nation de sports de glisse au monde.

En France ces JS correspondent à 7 millions de pratiquants (Domaines skiables de France, 2017). Le dossier de presse écrit par Médecins de Montagnes en 2018 concernant la saison 2016/2017 indique que parmi ces personnes, 87% font du ski

alpin. Cependant, cette activité est à fort risque accidentogène. En effet, durant la saison 2016/2017 il y a eu 131 409 blessés, ce qui correspond à un risque de 2,57 blessés pour 1 000 JS. Ce risque est doublé chez les débutants, en particulier durant les 4 premiers jours de leur pratique. Les blessures les plus fréquentes en ski alpin sont les entorses du genou qui totalisent 34% des blessures. Parmi elles, l'entorse du ligament croisé antérieur (LCA) représente plus de la moitié de ces entorses soit 18% du nombre total de blessures.

Il est à noter que ces chiffres sont très proches entre les différentes études (Davidson & Laliotis, 1996; Girardi, Braggion, Sacco, De Giorgi, & Corra, 2010; Hébert-Losier & Holmberg, 2013; Pujol, Bianchi, & Chambat, 2007; Rust, Gilmore, & Treme, 2013) et ce même chez des sportifs de haut niveau (Hydren, Volek, Maresh, Comstock, & Kraemer, 2013). Cela représente donc un coût important dans la prise en charge de ces blessures. Par exemple, au Canada les blessures liées aux sports de glisse ont coûtés 398 millions de dollars Canadiens en 2004, ce qui représente 12,5 dollars canadiens par habitant et par an (Hébert-Losier & Holmberg, 2013). Bien-sûr ce coût ne tient pas compte des effets négatifs à long terme de ces blessures qui sont difficilement quantifiables. En effet, les ruptures du LCA sont supposées causer, plusieurs années après leur survenue, de l'arthrose précoce du genou (Jordan, Aagaard, & Herzog, 2017a). Le coût total de la prise en charge d'un LCA à court et moyen terme a été estimé à 27.452\$ US en moyenne ($\pm 492\$$) lorsqu'une stratégie de reconstruction du ligament est choisie (la stratégie de rééducation seule coutant en moyenne 32.276\$ $\pm 3418\$$) (Mather et al., 2013). Il est important de noter qu'une estimation des coûts des arrêts de travail et indemnités d'invalidité a été incluse dans ce chiffre. Cette même étude analyse également les coûts à long terme d'une rupture du LCA qui seraient encore plus grands que ceux précédemment cités, du fait du développement plus précoce d'arthrose du genou et de sa prise en charge.

Il apparait donc pertinent de travailler sur des programmes de prévention pour diminuer plus spécifiquement le risque d'entorses du LCA et ce, particulièrement chez les skieurs de loisir qui sont très nombreux et pour qui, chez les débutants, le risque de blessures est plus grand.

Prévention

Définition

Selon la définition de l'OMS de 1948 : « *la prévention est l'ensemble des mesures visant à éviter ou réduire le nombre et la gravité des maladies, des accidents et des handicaps* ». Cette définition divise la prévention en santé publique en trois parties selon le stade de la maladie :

- La prévention primaire a pour objectif la non-survenue des évènements indésirables, c'est-à-dire diminuer l'incidence (nombre de nouveaux cas pour une population et un temps donnés) de ces évènements.
- La prévention secondaire a pour objectif de s'opposer à l'évolution de ces évènements. Elle vise à diminuer la prévalence (le nombre de cas à un instant T, dans une population) de ces évènements.
- Et la prévention tertiaire a pour objectif la non survenue des complications liées à ces évènements, et leur récurrence.

Grâce à cette définition, nous situons donc l'objet de ce mémoire comme visant la prévention primaire : Diminuer la survenue d'entorse du LCA en ski alpin chez les skieurs de loisir.

Cependant cette définition a évolué depuis 1948 : le Pr San Marco émet une définition de prévention globale comme étant « *la participation de chacun à la gestion de sa santé, quel qu'en soit le niveau* » (Flajolet, 2008). Le rapport Flajolet résume la définition comme suit : « *Gestion active et responsabilisée par la personne de son capital santé dans tous les aspects de la vie. L'action de promotion de la santé, de prévention des maladies ou d'éducation thérapeutique est déclenchée par un ou des professionnels. Une participation active de la personne, ou du groupe ciblé, est systématiquement recherchée* » (Flajolet, 2008).

Ici nous mettons en avant la participation active de la personne faisant l'objet d'une action de prévention. Il ne faut donc pas perdre de vue qu'il est nécessaire que le programme de prévention soit faisable par l'ensemble de la population concernée, ici : les skieurs de loisir.

Compétences du Masseur-kinésithérapeute

D'après l'article R4321-13 du Code de la Santé Publique (faisant partie du décret de compétences des masseur-kinésithérapeutes) : « *Selon les secteurs d'activité où il exerce et les besoins rencontrés, le masseur-kinésithérapeute participe à différentes actions d'éducation, de **prévention**, de dépistage, de formation et d'encadrement. Ces actions concernent en particulier : [...] 4° Le développement de la recherche en rapport avec la masso-kinésithérapie ; 5° La pratique de la gymnastique hygiénique, d'entretien ou préventive. »*

Ce projet rentre bien dans le cadre des compétences du masseur-kinésithérapeute (MK). Participer à la recherche pour mettre en place un programme de gymnastique préventive efficace permettrait de faire avancer la profession. En effet, un MK pourrait participer à la prévention en ski alpin en proposant de faire des séances de groupe où il ferait effectuer un programme de gymnastique préventive à certains de ses patients (et leur entourage) allant aux sports d'hiver. Il serait également possible de proposer ces séances aux personnes intéressées dans des salles de sports où certains MK travaillent. Nous pouvons aussi imaginer qu'il y ait la possibilité de travailler en station de ski, par exemple avec l'école de ski Français (ESF) qui donne des cours de ski aux débutants.

Pour mettre en place un programme de prévention efficace et reproductible par les MK, il est nécessaire de se baser sur un état des lieux de la littérature sur ce sujet.

Etat des lieux

La méthode pour mettre en place une prévention efficace des blessures en sport proposée par Van Mechelen et al (Van Mechelen, Hlobil, & Kemper, 1992) consiste en un programme de 4 étapes. Premièrement, il faut établir l'incidence et la sévérité de la blessure dans la population étudiée. Ensuite, il faut déterminer l'étiologie, et les mécanismes de la blessure. La troisième étape consiste à mettre en place des programmes de prévention qui découlent de l'étape 1 et 2. Enfin, la quatrième étape consiste à évaluer les effets de cette prévention en retournant à l'étape 1 pour constater ses effets sur l'incidence des blessures.

Malgré un important nombre de recherches sur la prévention en ski alpin (en effet les causes de blessures sont multifactorielles), seule une mesure de prévention est passée à travers ces 4 étapes : chausser des skis moins longs avec un profil réduit

chez des skieurs de haut-niveau (Spörri, Kröll, Gilgien, & Müller, 2017). En outre, seulement 5 facteurs de risques ont été formellement identifiés chez les sportifs : une force/un équilibre insuffisant des muscles du tronc, le sexe, le haut niveau technique, des dispositions génétiques défavorables, et chausser des skis à la fois hauts, courts, et larges (Jordan et al., 2017a; Spörri et al., 2017).

Pour ce qui est des articles traitant de la population de skieurs de « loisir », une revue systématique de la littérature datant de 2013 met en évidence qu'aucun de ses articles inclus n'investigue ou ne recommande d'exercices physiques spécifiques pour la prévention des blessures dans cette population (Hébert-Losier & Holmberg, 2013). De plus, une méta-analyse récente (Hume, Lorimer, Griffiths, Carlson, & Lamont, 2015), liste tous les facteurs de risque potentiellement modifiables et ceux pour lesquels il y a des preuves d'efficacité dans la littérature. Or, il est stipulé qu'aucun des facteurs classés dans « corps/contrôle moteur » (conditionnement physique, durée d'échauffement avant la première descente, poids, composition corporelle, nutrition et hydratation, forme physique, niveau de développement psychomoteur) n'ont été inclus dans des études interventionnelles. Enfin, ma recherche personnelle d'articles traitants de ce type de prévention en ski alpin n'a rien donné.

Problématique

Est-ce que la mise en place d'un programme de prévention basé sur une préparation physique spécifique chez une population de skieurs de loisir peut permettre de diminuer leur risque d'entorse du LCA ?

Un nombre important d'articles émettent des hypothèses positives à cette question et ce pour plusieurs raisons :

- Des programmes d'entraînement préventifs sont efficaces dans d'autres sports que le ski alpin (Hydren et al., 2013; Jordan et al., 2017a).
- Le déficit de force et/ou le déséquilibre des muscles du tronc a été prouvé comme étant un facteur de risque chez les jeunes skieurs (Jordan et al., 2017a; Spörri et al., 2017).
- Les demandes physiques du ski alpin sont élevées et nécessitent un entraînement pour diminuer la fatigue qui est possiblement un facteur de risque de blessures (Jordan et al., 2017a; Koller, Fuchs, Leichtfried, & Schobersberger, 2015; Ruedl et al., 2015).

- L'analyse biomécanique des mécanismes de blessure peut permettre de proposer un entraînement protégeant le LCA (Morrissey, Seto, Brewster, & Kerlan, 1987; Spörri et al., 2017).

Considérant ces informations, notre hypothèse sera qu'un programme de préparation physique spécifique effectué par une population de skieurs de loisir peut permettre de diminuer le taux d'entorses du LCA dans cette population.

Certains auteurs essayent de faire émerger des recommandations sur le type d'entraînement nécessaire (Hydren et al., 2013; Jordan et al., 2017a; Morrissey et al., 1987) mais surtout concernant une population de skieurs de haut niveau.

Il apparaît donc indispensable de se renseigner sur les mécanismes de blessure, et sur les programmes d'entraînement préventifs dans d'autres sports (en plus des recommandations déjà émises en ski alpin), afin de créer un programme efficace et adapté à la population de skieurs de loisir.

Rappels anatomiques et biomécaniques

Généralités

Le genou est un système articulaire synovial composé de deux articulations (Kamina, 2009) :

- L'articulation fémoro-patellaire qui est une ginglyme.
- L'articulation fémoro-tibiale qui est une double condylienne.

Ces articulations vont permettre de réaliser un mouvement dans deux degrés de liberté (ddl) : la flexion/extension dans le plan sagittal, et la rotation médiale et latérale dans le plan horizontal qui n'apparaissent que lorsque le genou est fléchi (Kapandji & Judet, 2009).

Système articulaire

L'articulation fémoro-patellaire met en relation la trochlée fémorale avec la patella. La trochlée fémorale est biconvexe dans ses surfaces médiale et latérale, avec une crête concave entre les deux. Cette crête est légèrement décalée vers l'intérieur car la trochlée fémorale possède un versant externe plus haut et plus large que le versant interne (en vue inférieure) (Kapandji & Judet, 2009).

La patella quant à elle est enchâssée dans le tendon quadricipital en haut et le tendon rotulien en bas qui s'insère sur la tubérosité tibiale antérieure (TTA). Sa surface articulaire est postérieure, cependant sa pointe (inférieure) ne présente pas de surface articulaire. Cette surface articulaire est inversement conformée à la trochlée fémorale (Kapandji & Judet, 2009).

L'articulation fémoro-tibiale met en relation le système condylien du fémur et l'extrémité supérieure du tibia (plateau tibial). Les condyles fémoraux sont biconvexes dans le plan frontal et sagittal. Leurs grands axes n'est pas strictement dans le plan sagittal mais divergent vers l'arrière (forme de chasse-neige). De plus le condyle externe diverge plus que l'interne (Kapandji & Judet, 2009). L'extrémité supérieure du tibia s'articule avec ces condyles et est formée d'un plateau légèrement incliné vers l'arrière (de 5-6° par rapport à l'horizontale) (Kapandji & Judet, 2009). Sur ce plateau sont placées des glènes qui sont les surfaces articulaires. Ces glènes sont relevées à la partie centrale du plateau tibial pour former les épines tibiales. La glène tibiale interne est concave vers le haut dans le plan sagittal et frontal. La congruence avec le condyle interne fémoral n'est pas très bonne mais cette forme se rapproche de la complémentarité. La glène tibiale externe est concave vers le haut dans le plan frontal mais convexe vers le haut dans le plan sagittal. Ce compartiment est donc plus dévolu à la mobilité qu'à la stabilité (Kapandji & Judet, 2009). Pour améliorer cette stabilité on va avoir deux ménisques (interne et externe) qui vont améliorer la congruence articulaire (Kamina, 2009). En effet, ils ont une forme triangulaire à la coupe pour combler le vide du à la forme arrondie des condyles fémoraux par rapport à la forme relativement plate des glènes tibiales. Le ménisque interne fait une forme de C (vue supérieure) et contourne le condyle fémoral médial par son côté interne ; le ménisque externe est en forme de O et contourne le condyle fémoral latéral par son côté externe. Leurs insertions sur l'os (une antérieure, et une postérieure pour chacun) sont appelées les cornes des ménisques (Kapandji & Judet, 2009). La partie périphérique des ménisques est adhérente à la capsule articulaire (Kamina, 2009). Cette capsule articulaire s'insère au pourtour de la surface articulaire patellaire. Au niveau du fémur elle s'insère proche des surfaces articulaires latéralement et postérieurement mais antérieurement elle s'insère à distance pour former le cul de sac quadricipital qui permet la flexion de genou (Kapandji & Judet, 2009). Au niveau du tibia elle s'insère globalement proche des surfaces articulaires. La capsule articulaire en postérieur est

renforcée par l'insertion des muscles gastrocnémiens et l'ensemble forme les coques condyliennes qui sont très rigides (Kapandji & Judet, 2009).

Système ligamentaire

Les ligaments périphériques sont les ligaments latéraux interne et externe. Le ligament latéral interne s'insère sur le tubercule du condyle médial, puis se dirige en bas et en avant pour se terminer au niveau de la face médiale du tibia (Kamina, 2009). Il est mis en tension lors des mouvements de valgus, mais aussi en rectitude ou en flexion de genou supérieure à 90°. De plus dans le plan horizontal, c'est la rotation externe de genou qui va le mettre en tension. Enfin, il va participer au contrôle des mouvements de tiroir antérieur du tibia sous le fémur (Dufour et al., 2017; Kapandji & Judet, 2009). Le ligament latéral externe, à distance de la capsule celui-ci, s'insère sur le tubercule du condyle latéral, puis se dirige en bas et en arrière pour se terminer au niveau de la tête de la fibula (Kamina, 2009). Il sera donc mis en tension lors du varus de genou, en rectitude, et en flexion de genou supérieure à 90°. Dans le plan horizontal c'est aussi la rotation externe qui le met en tension et il va participer au contrôle du tiroir postérieur du tibia sous le fémur (Dufour et al., 2017; Kapandji & Judet, 2009).

Les ligaments intra-articulaires sont les ligaments croisés. Au nombre de deux : le ligament croisé antérieur (LCA), et le ligament croisé postérieur (LCP), ils sont intracapsulaires (Kamina, 2009). Le LCA s'insère sur le tibia proche de la corne antérieure du ménisque interne, puis se porte en haut, en arrière, et en dehors, pour se terminer à la face médiale du condyle latéral dans sa partie postérieure (Kamina, 2009). Il est torsadé sur lui-même et présente deux faisceaux : un antéro-interne, et un postéro-latéral (Kapandji & Judet, 2009). Le LCP s'insère au niveau de la partie postérieure du plateau tibial, se dirige en haut, en avant, et en dedans, pour se terminer à la face latérale du condyle interne à sa partie antérieure (Kamina, 2009). Le LCA est tendu en rectitude, et en flexion supérieure à 90° (en réalité, les fibres étant torsadées et de longueur différente, elles ne sont pas toutes tendues au même moment). Le LCP est tendu en extension, et en flexion de genou supérieure à 90° (Dufour et al., 2017). Dans le plan horizontal, lors de la rotation interne, les fibres du LCA et du LCP s'enroulent entre elles ce qui met ces deux ligaments en tension. Toujours dans ce plan, le LCA empêche le tiroir antérieur du tibia sous le fémur et le LCP empêche le tiroir postérieur. De plus, si la flexion de genou dépasse 90°, le LCA va se détendre durant les 20 premiers degrés de rotation externe mais va ensuite se retendre en s'enroulant autour du condyle externe si la rotation externe se poursuit (Kapandji & Judet, 2009).

Pour une meilleure compréhension des parties « système articulaire » et « système ligamentaire », la figure 1 (Kamina, 2009) représente une vue antérieure de l'articulation du genou.

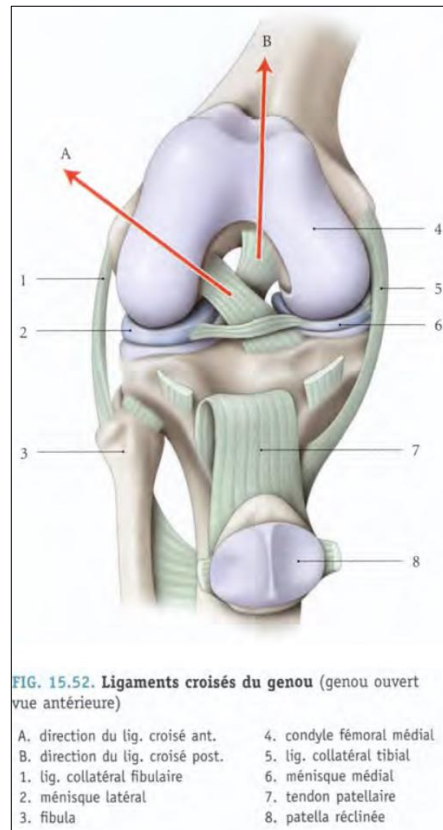


Figure 1 : Système ligamentaire du genou

Système musculaire

Le quadriceps est composé de quatre chefs que sont le droit fémoral et les trois vastes (interne, intermédiaire et externe) (Kamina, 2009). Le droit fémoral s'insère sur l'épine iliaque antéro inférieure (EIAI), se porte oblique en bas et en dedans, et se termine sur le bord supérieur de la patella (Kamina, 2009). Il est donc poly-articulaire. Le vaste intermédiaire s'insère au niveau de la diaphyse du fémur (face antérieure et postéro-latérale). Le vaste latéral et le vaste médial s'insèrent sur la ligne âpre du fémur. Ces vastes se terminent au niveau de la patella (Kamina, 2009). En chaine cinétique ouverte (CCO) (Annexe 1), le quadriceps est le principal muscle de l'extension de genou, mais quand il se contracte, il va aussi créer un tiroir antérieur du tibia en tractant la TTA vers l'avant, ce qui va mettre en tension le LCA. En chaine cinétique fermée (CCF) (Annexe 1) il va contrôler la flexion de genou (Kapandji & Judet, 2009).

Les ischio-jambiers (IJ) sont au nombre de trois et ils sont tous poly-articulaires. Ils s'insèrent sur la tubérosité ischiatique, sauf pour le chef mono-articulaire du biceps

fémoral qui s'insère sur la ligne âpre. Le semi-tendineux se termine sur la patte d'oie. Le biceps se termine sur la tête de la fibula. Et le semi-membraneux à trois terminaisons : une sur la face postérieure de la glène tibiale interne (la principale), une sous la glène tibiale interne au niveau antérieur, et une au niveau de la glène tibiale externe, en postérieur (Kamina, 2009). Ils sont tous fléchisseurs de genou en CCO. Ils vont créer un tiroir postérieur du tibia donc mettent en tension le LCP et détendent le LCA. Dans les autres plans, le semi-tendineux et le semi-membraneux, qui se terminent en interne, contrôlent le valgus du genou et provoquent une rotation interne de genou. Le biceps quant à lui fait les actions inverses dans ces plans (Kapandji & Judet, 2009). En CCF, en synergie avec les gastrocnémiens, les ischio-jambiers travaillent comme extenseurs de genou (Dufour et al., 2017).

Le gracile et le sartorius s'insèrent respectivement sur le pubis et l'épine iliaque antéro supérieure (EIAS). Leur terminaison et donc leur action au niveau du genou sont la même que le semi-tendineux. C'est trois muscles forment les muscles de la patte d'oie (Kapandji & Judet, 2009).

Le tenseur du fascia lata (TFL) s'insère sur la partie antérieure de la crête iliaque, et le fascia lata s'insère sur la crête iliaque. Le TFL va venir se terminer sur le bord antérieur du fascia lata en regard du grand trochanter. Le fascia lata se termine au niveau du tubercule de Gerdy du tibia (Kamina, 2009). Il se termine au niveau du compartiment latéral du tibia donc contrôle le varus de genou, et provoque la rotation externe. Pour ce qui est de la flexion/extension, il est au niveau du tubercule du condyle externe dans le plan de l'articulation. Ce tubercule représente l'axe moyen de flexion/extension donc quand le genou partira en extension le TFL deviendra extenseur, et inversement (Dufour et al., 2017).

Le triceps sural est composé des gastrocnémiens et du soléaire. Les gastrocnémiens s'insèrent sur la face supérieure des condyles fémoraux (Kamina, 2009) et cette insertion est adhérente à la face postérieure de la capsule pour former les coques condyliennes (Kapandji & Judet, 2009). Leur terminaison se fait sur le tendon d'Achille qui se fixe sur le calcanéum (Kamina, 2009). En CCO il est fléchisseur de genou et, en CCF, en synergie avec les ischio-jambiers, il est extenseur de genou (Dufour et al., 2017). Le soléaire s'insère sur le tibia, la fibula, et la membrane interosseuse qui les unit. Il se termine lui aussi sur le tendon d'Achille (Kamina, 2009). En CCF il a une

action indirecte sur le genou car il évite la chute du segment jambier vers l'avant (Dufour et al., 2017).

Le poplité s'insère sur la face postérieure du tibia, puis se dirige en haut et en dehors pour se terminer sur la corne postérieure du ménisque externe et sur la face latérale du condyle externe. En CCO, il est fléchisseur et rotateur interne de genou. Il a un rôle important dans la stabilité car sa composante de compression articulaire est supérieure à sa composante de mobilité (Dufour et al., 2017).

Nous pouvons donc constater que la majorité des muscles ayant une action sur le genou sont poly-articulaires soit avec la hanche, soit avec la cheville et le pied. Le seul véritable muscle mono-articulaire est le poplité (les vastes du quadriceps, le biceps fémoral et le soléaire font partie d'un ensemble poly-articulaire). Ces muscles vont assurer la mobilité et la stabilité de l'articulation. La conséquence est que la stabilité du genou va dépendre de la position de la hanche et de la cheville qui va déterminer l'état de tension de ces muscles (Kapandji & Judet, 2009).

Physiologie articulaire

La position d'étude est la position anatomique. Le premier ddl se fait dans le plan sagittal autour de plusieurs axes frontaux. La flexion porte le segment jambier vers l'arrière. A cause de la forme des condyles fémoraux, le roulement qu'il y aura lors de la flexion sera différent en interne et en externe. L'axe du mouvement change donc de position durant toute l'amplitude de flexion. Cela entraîne également un mouvement de rotation interne automatique du tibia sous le fémur lors de la flexion (Kapandji & Judet, 2009). L'amplitude de la flexion dépend de la position de la hanche : hanche fléchie on a 140° en actif et jusqu'à 160° en passif (la limite du mouvement est le contact des masses musculaires postérieures) ; hanche tendue on a 120° en actif (Kapandji & Judet, 2009). Les muscles moteur sont les IJ principalement, le triceps, le sartorius, le TFL, le gracile, et le poplité. La flexion peut également se faire grâce à la pesanteur et dans ce cas-là c'est le quadriceps (principalement) qui va la contrôler (Dufour et al., 2017). L'extension est le mouvement qui porterait le tibia vers l'avant mais l'amplitude est normalement de 0° bien que certains individus présentent des récurvatus (Kapandji & Judet, 2009). Les limites de l'extension sont : hanche fléchie la tonicité des IJ ; pointe de pied relevée le triceps ; en position anatomique les coques condyliennes et tous les ligaments du genou. Le principal muscle moteur de l'extension est le quadriceps (Dufour et al., 2017).

Le deuxième ddl se fait dans le plan horizontal autour d'un axe vertical qui se situe au niveau de l'épine tibiale interne. Cet axe n'est donc pas au milieu du plateau tibial mais décalé en dedans et vers l'arrière. La conséquence est que lors des rotations le compartiment externe sera plus mobile que le compartiment interne. Ce ddl n'existe que genou fléchi car il demande le relâchement du système ligamentaire (donc entre 5° et 90° de flexion la rotation est possible) (Dufour et al., 2017). La rotation externe fait partir la TTA vers le dehors en chaîne cinétique ouverte (CCO). Seulement, cette rotation s'effectue souvent en chaîne cinétique fermée (CCF) avec le tibia et le pied fixes et donc cela correspond à de la rotation interne fémorale. L'amplitude est d'environ 40° (à 90° de flexion de genou). Les limites sont d'abord le système musculaire antagoniste (les muscles de la patte d'oie, le semi-membraneux et le poplité), puis le système ligamentaire périphérique (LLI et LLE). Les muscles moteurs sont le biceps fémoral et le TFL (Dufour et al., 2017). La rotation interne va porter la TTA vers l'intérieur. L'amplitude est d'environ 30°. Les limites sont en premier lieu le système musculaire antagoniste (biceps fémoral et TFL), puis le système ligamentaire intra-articulaire : les ligaments croisés qui se torsadent entre eux. Les muscles moteurs sont les muscles de la patte d'oie, le sartorius et le poplité (Dufour et al., 2017). La position la plus instable du genou en rotation est la position où les ligaments sont le plus détendus donc normalement à 60° de flexion de genou (Dufour et al., 2017).

Le genou est l'articulation intermédiaire entre le système cheville-pied qui est très stable et le corps qui se déplace au-dessus. C'est une articulation qui présente beaucoup de mobilité (en particulier dans le plan sagittal), mais elle doit être stable, elle l'est dans les activités de la vie quotidienne mais dans les activités sportives il y a un risque d'instabilité très important du à la non-concordance des surfaces articulaires au niveau osseux (Kapandji & Judet, 2009). Le système musculaire suffit la plupart du temps à assurer la stabilité de cette articulation mais si il est dépassé, c'est le système capsulo-ligamentaire qui va prendre le relais, et c'est là que le risque d'entorse devient important (Dufour et al., 2017).

Mécanismes des blessures en ski alpin

Spécificités du skieur

Pour le skieur, le genou va devoir supporter encore plus de contraintes car les articulations de la cheville et du pied sont bloquées dans des chaussures rigides. Ces articulations ne pourront donc pas agir sur l'équilibre du skieur pendant les descentes

et le genou va donc devoir compenser cette perte de mobilité. La chaussure est également surélevée par rapport au sol et aux skis avec les cales des fixations. Cela augmente le bras de levier des contraintes transmises par le sol aux genoux du skieur.

De plus, les skis possèdent des carres ce qui place les chaussures du skieur comme sur des rails. Le skieur doit s'appuyer sur les carres internes de chaque ski par rapport à son virage, ou supérieures s'il se trouve perpendiculaire à la piste. Cet appui va entraîner un virage du même côté dû à la courbure des skis. S'il s'appuie sur la mauvaise carre (faute de carre), celui-ci va se bloquer dans la neige et complètement immobiliser le pied du skieur tandis que son corps va chuter vers le bas de la piste. Normalement, dans cette situation, les fixations de la chaussure vont s'ouvrir et libérer le pied du skieur. Cependant, si ce n'est pas le cas, le genou va se retrouver en porte-à-faux par rapport à un segment jambier entièrement fixe, et le corps qui chute au-dessus (l'articulation de la hanche étant très stable).

Le skieur est globalement toujours en position genou fléchi entre 30° et 90° durant ses descentes (Fasel, Spörri, Schütz, Lorenzetti, & Aminian, 2017). C'est la fourchette d'amplitude où le genou est le plus mobile mais le moins stable car le système ligamentaire, comme nous venons de le voir, est détendu. C'est donc le système musculaire qui va prendre en charge la stabilité du genou. Néanmoins, si les muscles ne sont pas assez réactifs, ou pas assez forts pour stabiliser l'articulation c'est le système capsulo-ligamentaire qui va devoir prendre le relai. Avec la forte énergie cinétique que génère le ski, ce système ligamentaire pourra difficilement supporter la contrainte et c'est là que les entorses risquent de survenir.

Atterrissage avec poids du corps vers l'arrière

Ce mécanisme, appelé « landing back weighted » dans la littérature récente (Jordan, Aagaard, & Herzog, 2017b; Spörri et al., 2017), cause une rupture isolée du LCA survient lorsqu'un skieur se réceptionne après un saut avec son centre de gravité placé en arrière par rapport à ses chaussures (Bere et al., 2011; Ettlinger, Johnson, & Shealy, 1995; Järvinen, Natri, Laurila, & Kannus, 1994; Jordan et al., 2017b; Spörri et al., 2017).

La figure 2 (Médecins de montagne, 2012) représente ce mécanisme.



Figure 2 : Mécanisme « Landing back weighted ».

L'arrière du ski va d'abord rentrer en contact avec la neige, puis, le talon de la chaussure (la chaussure étant horizontale en l'air). Cela va entraîner une bascule de la chaussure vers l'avant pour qu'elle redevienne parallèle à la piste. Cette bascule va causer un tiroir antérieur du tibia sous le fémur. De plus, l'atterrissage va demander une forte contraction des quadriceps au skieur, et ce d'autant plus qu'il aura atterri avec son centre de gravité situé vers l'arrière. Il va en effet devoir se redresser pour ne pas tomber. Cette contraction va entraîner une forte traction sur la TTA et donc majorer le tiroir antérieur.

Ici, le skieur sera dans une position de légère flexion de genou juste avant son atterrissage dans la plupart des cas. Cela va impliquer une forte compression fémoro-tibiale lors de l'atterrissage. De plus, le système ligamentaire va se détendre lors de la flexion de genou qui va survenir à l'impact, et ce sont donc les ischio-jambiers qui vont lutter contre le tiroir antérieur par leur contraction excentrique. Enfin, si le skieur perd l'équilibre vers l'arrière, sa flexion de genou va augmenter jusqu'à dépasser 90° ce qui va tendre les ligaments croisés.

Le mouvement de la botte et la forte contraction du quadriceps vont donc causer un tiroir antérieur. On rappelle également que le plateau tibial étant incliné vers l'arrière, cela favorise aussi le tiroir antérieur sachant qu'il y a une forte compression fémoro-tibiale à l'atterrissage. Les ischio-jambiers vont agir en premier lieu entre 5 et 90° de flexion mais s'ils ne sont pas assez efficaces c'est le LCA qui va lutter contre ce tiroir

(assisté par le LLI). Avec une flexion supérieure à 90° les IJ, le LLI, et le LCA vont travailler conjointement puisque le système ligamentaire est tendu.

Ce mécanisme concerne surtout des skieurs qui ont déjà un assez bon niveau pour pouvoir faire des sauts. Néanmoins, des skieurs débutant peuvent en subir les conséquences si par exemple, à cause de mauvaises conditions de visibilité, ils ne voient pas une bosse et se retrouvent en l'air sans l'avoir voulu.

L'analyse de ce mécanisme nous permet de supposer qu'un renforcement excentrique des IJ, ainsi qu'un entraînement pour améliorer leur réactivité, peut permettre de protéger le LCA.

Varus-Flexion-Rotation interne

Ce mécanisme de rupture du ligament croisé antérieur, ainsi que le suivant qui sera présenté (Valgus-Flexion-Rotation externe), sont régulièrement décrits par des médecins ou des chirurgiens, mais pas comme étant spécifiques au ski alpin (Collège Français des Enseignants universitaires en Médecine physique et de réadaptation [COFEMER], 2010; Médecins de montagne, 2012). La figure 3 (Savoie Orthopédie Chirurgicale, 2011) représente la position du membre inférieur, ainsi que celle de l'articulation du genou lors de ce mécanisme.

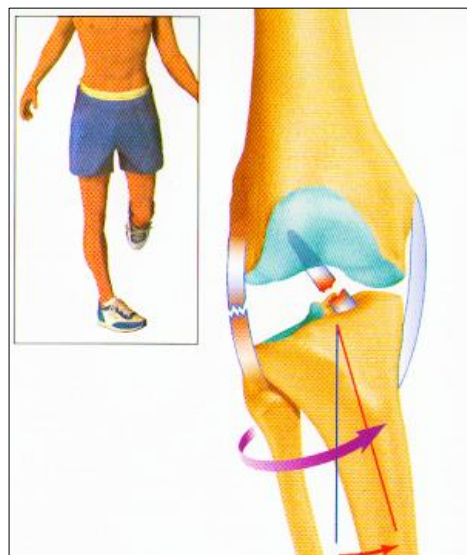


Figure 3 : Varus-Flexion-Rotation interne

Il s'agit du mécanisme entraîné par la faute de carre du bord externe du ski externe. Lors d'un virage, si le skieur appuie sur le bord externe de son ski externe à la place du bord interne, le carre va faire s'immobiliser le ski en s'enfonçant dans la neige. Le pied et le tibia vont être bloqués en rotation interne, et le corps du skieur en chutant va

vers le dehors ce qui entraîne une flexion et un varus de genou (VARFI = VARus, Flexion, rotation Interne) et ce qui majore la rotation interne en CCF.

Pour contrôler la flexion, le quadriceps va devoir se contracter, ce qui, on le rappelle va créer un tiroir antérieur normalement contrôlé par les IJ. La rotation interne est contrôlée par le biceps fémoral et le TFL. Si le système musculaire n'est pas assez performant, le système ligamentaire va prendre la contrainte. Le LLE va contrôler le varus, et les ligaments croisés la rotation interne. Le tiroir antérieur du quadriceps va être contrôlé par le LCA et le LLI. Le LCA est donc mis en tension par la rotation interne et le tiroir antérieur ce qui va pouvoir entraîner sa rupture, isolée ou non.

L'analyse de ce mécanisme nous permet de supposer qu'un renforcement excentrique des rotateurs externes de genou (en plus des IJ) peut permettre de protéger le LCA.

Valgus-Flexion-Rotation externe

Ce mécanisme va entraîner une rupture du LLI (et parfois d'autres structures anatomiques) en plus de celle du LCA (Järvinen et al., 1994). Ce mécanisme est cité dans d'autres études, mais qui ont plus de 20 ans (Geyer & Wirth, 1991; Morrissey et al., 1987). Il est néanmoins encore décrit par des médecins (COFEMER, 2010; Médecins de montagne, 2012) comme pour le mécanisme du VARFI, et il semble donc pertinent de l'inclure dans ce travail dans un souci d'exhaustivité. La figure 4 (Savoie Orthopédie Chirurgicale, 2011) représente la position du membre inférieur, ainsi que celle de l'articulation du genou lors de ce mécanisme.

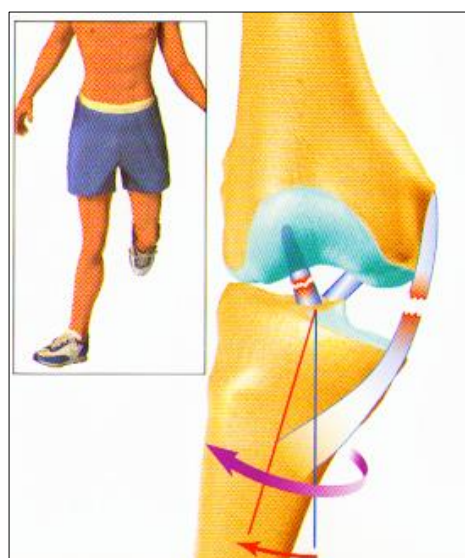


Figure 4 : Valgus-Flexion-Rotation externe.

C'est la faute de carre du bord interne du ski externe qui va le causer. Lors de la descente, le skieur va former un angle aigu entre un de ses skis et sa trajectoire. En mettant du poids dessus, la carre va accrocher la neige et immobiliser le segment jambier en rotation externe. Ensuite il va chuter en interne ce qui va entraîner un valgus, une flexion de genou et majorer la rotation externe (VALFE = VALgus, Flexion, rotation Externe). A noter que ce mécanisme existe aussi lorsque le ski se bloque à un obstacle comme un piquet de slalom par exemple (ce qui concernerait plutôt les sportifs).

Le skieur va devoir contrôler tous les mouvements cités ci-dessus pour éviter de se blesser. Pour contrôler la flexion le quadriceps va se contracter et causer un tiroir antérieur. Pour contrôler la rotation externe, les muscles de la patte d'oie et le semi-membraneux vont agir. Si le système musculaire n'est pas assez efficace, les ligaments collatéraux vont contrôler la rotation externe et le LLI va en plus contrôler le valgus. Pour contrôler le glissement antérieur, les IJ puis le LCA et le LLI vont être sollicités. De plus, si rotation externe dépasse 20° avec une flexion de genou supérieure à 90°, nous avons vu que le LCA se tendait en s'enroulant autour du condyle externe du fémur. Donc si lors de sa chute, la flexion de genou du skieur dépasse 90° et que le LLI se rompt car il n'est pas capable de supporter la contrainte, cela va majorer la rotation externe, et le LCA va se tendre puis rompre à son tour.

L'analyse de ce mécanisme nous permet de supposer qu'un renforcement des rotateurs internes sur une flexion de genou supérieure à 90° pourrait permettre de protéger le LCA.

L'accroche du ski externe lors d'une perte d'équilibre vers l'intérieur

Ce mécanisme, appelé le « slip catch » dans la littérature récente (Spörri et al., 2017), a été décrit par l'analyse de vidéos chez des skieurs de haut niveau (Bere et al., 2011, 2013). Il semble être le mécanisme le plus fréquent causant une entorse du LCA chez les skieurs de haut niveau.

La figure 5 est un ensemble de photos prises durant la survenue d'une entorse du LCA par le biais de ce mécanisme (Bere et al., 2013). Les photos A, B, C, D, sont prises respectivement à -400, -120, 0, +200 ms de la rupture du ligament.

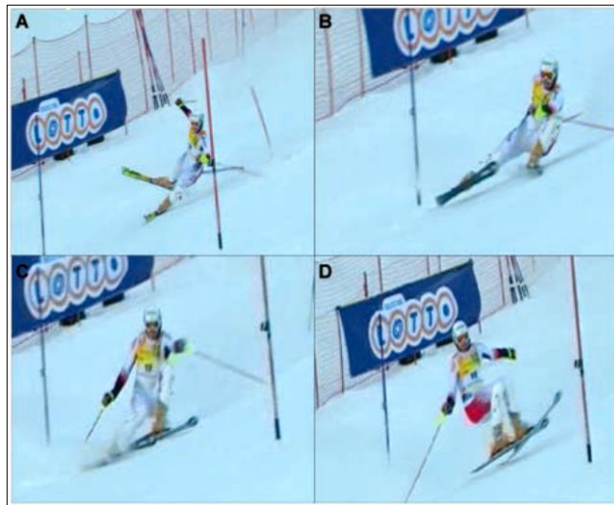


Figure 5 : Slip Catch (genou droit)

Ce mécanisme se produit lors d'un virage lorsque le skieur perd l'équilibre vers l'arrière et/ou en interne. Son ski externe perd alors le contact avec la neige et le skieur tend la jambe pour retrouver un appui. Lorsque l'appui sur le ski (et plus particulièrement la carre interne) survient, le ski va brutalement tourner vers l'intérieur du virage et entraîner le genou en rotation interne et valgus. Comme le skieur a tendu la jambe pour retrouver un appui, la rotation interne va survenir sur un genou presque tendu qui va ensuite se fléchir rapidement à cause de l'appui (jusqu'à environ 60°).

Pour contrôler la flexion le quadriceps sera nécessaire comme pour les autres mécanismes. Le tiroir antérieur induit sera normalement contrôlé par les IJ. La rotation interne est contrôlée par le biceps fémoral et le TFL. Si le système musculaire n'est pas assez performant, le système ligamentaire va prendre la contrainte. Le LLI va contrôler le valgus, et les ligaments croisés la rotation interne. Le tiroir antérieur du quadriceps va être contrôlé par le LCA et le LLI. Le LCA est donc mis en tension par la rotation interne et le tiroir antérieur comme pour le mécanisme du VARFI.

Nous allons donc en déduire encore une fois que le renforcement et le travail de la rapidité de réaction des rotateurs externe de genou et des IJ peut permettre de protéger le LCA.

L'accroche du ski interne lors d'une perte d'équilibre vers l'intérieur

Ce mécanisme est appelé le « chasse-neige dynamique » dans la littérature récente (« dynamic snowplow ») et a été décrit lui aussi par des analyses de vidéos chez des skieurs de haut niveau (Bere et al., 2011). Une variante de ce mécanisme appelé le « pied fantôme » (« phantom foot ») a été décrit comme le mécanisme d'entorse du LCA le plus fréquent chez les skieurs de loisir (Ettlinger et al., 1995). Ces deux mécanismes semblent très proches l'un de l'autre même si le chasse-neige dynamique a été décrit de manière plus précise. La position de la blessure est presque identique à celle du mécanisme décrit précédemment mais elle concerne le genou interne par rapport au virage cette fois ci, et la flexion de genou est plus importante.

La figure 6 est un ensemble de photos prises durant la survenue d'une entorse du LCA causée par le mécanisme du chasse-neige dynamique (Bere et al., 2011). Les photos A, B, C, D, sont prises respectivement à -620, -240, 0, +540 ms de la rupture du ligament.

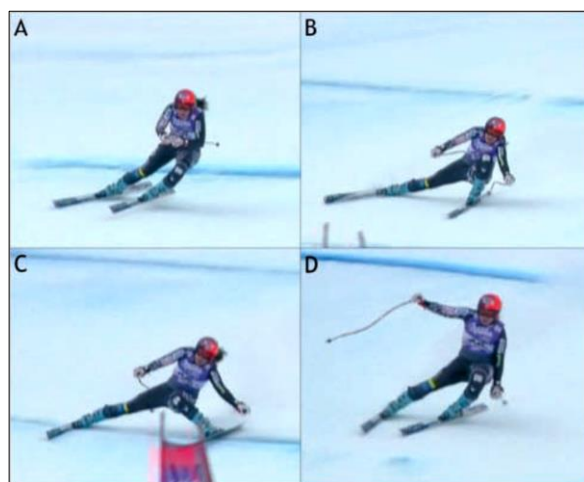


Figure 6 : Chasse-neige dynamique (genou gauche)

Le skieur va perdre l'équilibre en arrière et en interne et décoller son ski interne de la neige pendant l'appui sur son ski externe. Pendant son virage le skieur est penché vers l'intérieur, et avec sa perte d'équilibre, il va commencer à chuter vers l'intérieur. De plus cette chute est majorée si son ski externe perd son adhérence et glisse vers l'extérieur à cause de l'angulation entre la carre et la neige qui change (le skieur qui se penche trop en interne) et/ou avec une piste verglacée par exemple. Pour éviter la chute, le skieur va plier le genou interne et faire une rotation interne de hanche pour essayer d'éloigner vers l'intérieur du virage son ski, de telle sorte qu'il passe la ligne de gravité du skieur et retrouve un appui lui permettant de ne pas chuter (s'il ne plie pas le genou pour décoller ou du moins enlever un maximum de poids à son ski, la

carre externe du ski va accrocher la neige et empêcher le skieur de placer son ski suffisamment éloigné vers l'intérieur du virage pour passer sa ligne de gravité). Pendant ce déplacement, le ski interne va rouler de sa carre externe qui permettait le virage vers sa carre interne (en lien avec la rotation interne de hanche). Lorsque le skieur va reporter son poids sur ce ski, c'est donc la carre interne qui va accrocher la neige et forcer la rotation interne tibiale et le valgus de genou. Ici le genou sera donc fléchi à plus de 90°.

Le genou étant fléchi à plus de 90°, les ligaments croisés et latéraux seront donc tendus. Le LLI va contrôler le valgus et les ligaments croisés la rotation interne. Les muscles rotateurs externes de genou vont assister les ligaments croisés et les muscles interne varisants vont assister le LLI. Cependant les ligaments croisés déjà tendus par la flexion de genou vont l'être encore plus par la rotation interne et le valgus du genou et sont donc en position favorisant leur rupture. A rajouter, comme pour les autres mécanismes, que le skieur reprenant un appui sur son ski genou fléchi va fortement contracter son quadriceps dans l'optique de ne pas chuter et de se redresser, cette contraction va donc causer un tiroir antérieur du tibia sous le fémur contrôlé par le LCA, lui-même assisté par les muscles IJ.

Ici, nous pouvons aussi conclure qu'il faut renforcer les muscles qui assistent les ligaments dans leur travail pour espérer protéger le LCA.

Nous venons de voir le comportement d'un skieur de haut niveau mais le mécanisme du « pied fantôme » concerne, et a été décrit, chez des skieurs de loisir. La figure 7 (Ettliger et al., 1995) représente ce mécanisme.

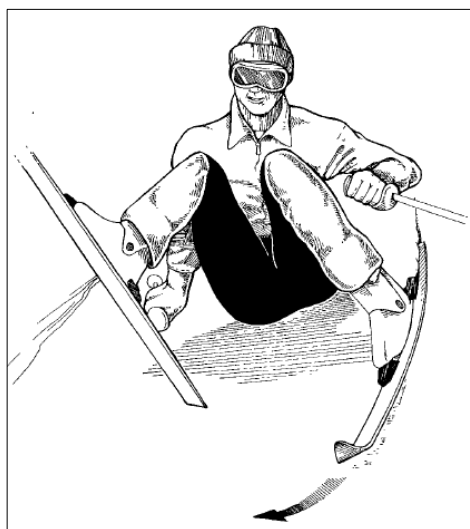


Figure 7 : Pied fantôme (genou gauche)

Ce skieur va perdre l'équilibre vers l'arrière et sur le côté de la descente de la piste. Cette perte d'équilibre va lui faire décoller son ski du côté opposé à la perte d'équilibre donc son ski supérieur. Sa chute vers l'arrière va lui faire fléchir son genou portant au-delà de 90°. Le poids du skieur va se retrouver porté par la carre interne de son ski inférieur et donc entraîner une rotation interne de genou. La position de blessure est donc proche de celle de l'accroche du ski externe lors d'une perte d'équilibre vers l'intérieur, et du « chasse-neige dynamique » et les muscles à renforcer pour protéger les ligaments sont donc identiques.

Conclusion

Nous avons pu voir ici les principaux mécanismes de blessures du LCA survenant en ski alpin. Cependant, certaines entorses du LCA sont dues à des chutes à haute cinétique alors que les skis ont déchaussés, ou alors à des collisions avec d'autres skieurs ou avec des éléments du terrain (arbres, rochers,...). La prévention adaptée aux mécanismes sans contact ci-dessus, ne sera donc à priori pas efficace pour ces cas-là. De plus, beaucoup des mécanismes ont été étudiés chez une population de skieurs de haut niveau et nous ne savons pas quelle proportion de ces mécanismes intervient chez les skieurs de loisir. Néanmoins, faire un programme d'entraînement adapté aux mécanismes spécifiques de blessure a fait ses preuves dans d'autres sports (Alentorn-Geli et al., 2009; Soligard et al., 2008; Willadsen, Zahn, & Durall, 2018) et nous pouvons donc raisonnablement penser que cela peut fonctionner en ski alpin.

Ici, grâce à l'analyse de ces mécanismes de blessure, nous pouvons supposer que renforcer les muscles assistant le LCA dans sa fonction est une piste intéressante à suivre pour constituer un programme d'entraînement efficace. Cela concerne donc les IJ, le gracile, le sartorius, et le TFL. Ces muscles vont surtout travailler de manière excentrique lors de ces sollicitations. Il faut donc mettre en place un renforcement de ces muscles par le biais de contractions excentriques, mais aussi un entraînement centré sur la rapidité de la co-contraction des muscles agonistes et antagonistes afin de maintenir la stabilité de l'articulation. De plus, une faiblesse des muscles stabilisateurs de hanche et en particulier, des abducteurs, a été montré comme un facteur d'augmentation du valgus de genou durant des tâches d'atterrissage (Howard, Fazio, Mattacola, Uhl, & Jacobs, 2011; Jacobs, Uhl, Mattacola, Shapiro, & Rayens, 2007). Ici le valgus de genou est présent dans la majorité des mécanismes de blessures présentés même si il ne s'agit pas, dans ces cas-là, de mécanismes

impliquant un atterrissage. Un renforcement des muscles stabilisateurs de hanche, et en particulier des abducteurs, semble donc être une piste intéressante à suivre pour améliorer le contrôle du genou.

Programmes d'entraînement préventif dans d'autres sports

Population

Les programmes de prévention basés sur la préparation physique spécifique ont été principalement étudiés chez une population féminine (Taylor, Waxman, Richter, & Shultz, 2015; Webster & Hewett, 2018). Ceci est dû au fait que cette population présente un risque de blessures beaucoup plus élevé comparée à la population masculine (jusqu'à 4 fois plus grand) (Arendt & Dick, 1995; Webster & Hewett, 2018). Néanmoins, le FIFA 11+, un programme de prévention en football, a été étudié chez une population féminine et masculine et a montré la même efficacité dans les deux cas (Silvers-Granelli, Bizzini, Arundale, Mandelbaum, & Snyder-Mackler, 2017). Nous pouvons donc espérer généraliser, dans une certaine mesure, les résultats trouvés chez la population féminine, à la population masculine.

Les sports étudiés dans ces études sont le football, le handball, le volleyball et le basketball (Donnell-Fink et al., 2015; Petushek, Sugimoto, Stoolmiller, Smith, & Myer, 2018). Ce sont tous des sports de balle, collectifs. Ici, une différence de taille apparaît en comparaison avec le ski alpin. En effet, le ski alpin est un sport individuel pratiqué en autonomie le plus souvent. Les skieurs de loisir n'ont pas forcément besoin de faire partie d'un club pour pouvoir pratiquer, ce qui est différent des sports sus-cités sachant qu'ils sont collectifs. Ainsi, tous les programmes étudiés dans ces sports ont été mis en place dans des clubs (professionnels ou non). Cela va faciliter l'implémentation du programme : les entraînements sont réguliers, les entraîneurs peuvent y intégrer un moment dédié pour l'effectuer (souvent pendant l'échauffement (Sugimoto, Myer, Foss, & Hewett, 2014)) , et faire les exercices à plusieurs est aidant. De ce fait, nous pouvons supposer que ces facteurs améliorent la compliance, qui est un facteur décisif d'efficacité de ces programmes (Webster & Hewett, 2018). Pour les skieurs de loisir ne pratiquant pas en clubs, il va donc falloir trouver des moyens de maintenir cette compliance élevée.

Enfin, il est important de souligner que la plupart des études ont inclut une population jeune (moins de 25 ans) (Petushek et al., 2018; Taylor et al., 2015). Cependant, le ski

alpin étant une activité accessible à tout âge, il faut que des programmes soient efficaces chez une population jeune et chez une population plus âgée.

Nous avons donc pu voir quels étaient les sports étudiés dans la littérature concernant les programmes de prévention de l'entorse du LCA par l'entraînement physique spécifique, ainsi que les caractéristiques principales de la population généralement incluse dans ces études. Nous allons maintenant nous intéresser à tous les types d'exercices mis en place dans ces programmes afin de sélectionner ceux qui semblent les plus pertinents.

Types d'exercices préventifs

L'entraînement neuromusculaire a été montré à plusieurs reprises comme étant efficace dans une stratégie de prévention des entorses du LCA, mais aussi, dans une moindre mesure, des autres blessures du genou (Donnell-Fink et al., 2015; Petushek et al., 2018; Sugimoto et al., 2014; Webster & Hewett, 2018). Cet entraînement est constitué de plusieurs types d'exercices : des exercices pliométriques (sauts/atterrissages), d'équilibre et de proprioception, de renforcement, d'étirement, et de course (Mehl et al., 2018). Ces exercices varient selon les études mais restent de ce type-là. Malgré le fait que plusieurs méta-analyses se soient penchées sur le sujet, il n'a pas pu être mis en évidence qu'un type d'exercice soit plus efficace que les autres pour prévenir les entorses du LCA (Donnell-Fink et al., 2015; Taylor et al., 2015; Webster & Hewett, 2018). Une seule étude recommande des exercices spécifiques : le renforcement des IJ (Nordic Hamstring), les fentes, le travail des triceps suraux par des exercices de mise sur la pointe des pieds, et surtout les tâches d'atterrissage (de 1 à 5 exercices dans le programme) (Petushek et al., 2018).

Plusieurs programmes d'échauffement ont maintenant été établis et étudiés dans la littérature : le FIFA 11+, Prevent injury and Enhance Performance (PEP), Sportsmetrics, et Harmo Knee Prevention Program (Mehl et al., 2018). Un tableau résumant les caractéristiques de ces programmes est présent dans l'article de Mehl et al (2018) et est consultable en Annexe 2. Ces programmes ont le point commun de faire se succéder des exercices d'une durée de quelques secondes à une minute. Ce sont des exercices qu'il est pour la plupart possible de faire seul, et il y a peu de risque d'évènements indésirables liés à ce type d'exercices car ils sont effectués avec le poids du corps, il n'y a pas de charge supplémentaire. Il faut cependant vérifier que

les exercices soient faits correctement ce qui peut prendre deux à trois séances d'entraînement supervisé d'après le manuel du FIFA 11+.

Les exercices de renforcement ciblent les fléchisseurs de genou, les stabilisateurs de hanche (surtout les abducteurs), et le gainage du tronc plus spécifiquement (Mehl et al., 2018). De plus une attention particulière doit être apportée à contrôler le valgus du genou, faire des atterrissages doux durant les tâches de pliométrie ou de course, et garder la position du genou au-dessus des orteils durant les tâches de flexion de genou (Petushek et al., 2018). Ceci est en accord avec l'analyse des mécanismes des blessures du LCA dans les sports étudiés qui sont similaires entre eux (Mehl et al., 2018). Pour les skieurs de loisir, il n'y a évidemment pas de course dans leur activité, et peu de tâches d'atterrissage. Cependant, ces exercices sont sensés optimiser l'activation musculaire pour assurer un alignement du genou correct (Petushek et al., 2018). De plus, les skieurs font constamment des tâches de pliométrie. En effet, pendant la première partie d'un virage il y a une contraction excentrique du quadriceps, puis dans la seconde partie, une contraction concentrique (Hydren et al., 2013), ce qui revient exactement à la définition d'un exercice pliométrique. Il semble donc aussi intéressant de faire des tâches de pliométrie en ski alpin.

Si les types d'exercices sont une caractéristique essentielle du programme d'entraînement, le volume de cet entraînement est également d'une importance cruciale afin que l'intensité du programme permette une efficacité de celui-ci.

Volume d'entraînement

Pour ce qui est du volume de l'entraînement recommandé, certaines études ne trouvent pas de corrélations entre le volume d'entraînement et la réduction du taux de blessures (Petushek et al., 2018; Taylor et al., 2015), tandis que d'autres trouvent un lien significatif : plus le volume d'entraînement est grand, plus le taux de blessure sera faible (Mehl et al., 2018; Sugimoto et al., 2014). Globalement, il est recommandé de faire des sessions de plus de 20 minutes, au moins deux ou trois fois par semaines, pendant au moins 6 semaines (Mehl et al., 2018; Petushek et al., 2018; Sugimoto et al., 2014; Taylor et al., 2015).

De plus, certaines études ont mis en place leur entraînement en pré-saison seulement, en pré-saison et durant la saison, ou seulement durant la saison de sport, et il a été mis en évidence que les programmes effectués en pré-saison et durant la saison

étaient plus efficaces que les autres (Donnell-Fink et al., 2015; Mehl et al., 2018; Petushek et al., 2018).

Nous avons maintenant, par le biais de l'étude de la littérature effectuée jusqu'à présent, toutes les informations qu'il nous a été possible de recueillir pour nous aider à créer un programme d'entraînement efficace dans la prévention des entorses du LCA chez les skieurs de loisir. Afin d'évaluer ce programme, il est nécessaire de choisir un type d'étude adéquat.

Matériel et méthodes

Type d'étude

L'objectif de cette recherche serait de savoir si la mise en place d'un programme de prévention par la préparation physique spécifique pourrait être efficace pour diminuer l'incidence d'entorses du LCA chez une population de skieurs de loisir. Le type d'étude qui permet d'investiguer cette problématique est l'essai contrôlé randomisé. Ce type d'étude apporte un haut niveau de preuve mais est également difficile à mettre en place, et coûteux.

Néanmoins aucune étude interventionnelle n'a encore été faite pour évaluer ce type de prévention en ski alpin, alors que beaucoup d'indices suggèrent que cela pourrait être efficace (Cf. Problématique). Il apparaît donc pertinent à l'heure actuelle de faire une étude de ce type. Ceci est également en accord avec la méthode proposée par Van Mechelen et al (1992) pour mettre en place une prévention efficace des blessures en sport, présentée en introduction. En effet, après l'étape 1 qui consiste à évaluer l'incidence et la sévérité des blessures ciblées, et l'étape 2 qui consiste à déterminer l'étiologie et les mécanismes de survenue de ces blessures, il convient de passer à l'étape 3 qui consiste à mettre en place et à évaluer des programmes de prévention découlant des deux étapes précédentes.

Les patients inclus seront donc séparés en deux groupes de manière aléatoire : un groupe contrôle et un groupe soumis à l'intervention. Cette intervention consiste pour le patient à effectuer le programme de préparation physique spécifique qui est détaillé ci-après.

Intervention

Faisabilité

Dans la partie « Prévention » nous avons vu qu'il était important que le programme d'entraînement soit faisable par l'ensemble de la population concernée. Cela concerne différentes modalités du programme : le temps, la difficulté, le matériel nécessaire, la sécurité, et l'indépendance des patients.

Le temps passé à faire ce programme par la population choisie ne doit pas être trop important pour permettre une compliance la plus élevée possible. Il est en effet

aisément compréhensible qu'un temps d'entraînement de 10 heures par semaines (par exemple) ne soit pas faisable par toute la population des skieurs de loisir. Néanmoins, le temps mis à effectuer le programme d'entraînement doit permettre l'efficacité de la prévention des blessures. Pour cette modalité, nous allons donc nous baser sur le volume recommandé par l'analyse des programmes efficaces dans les autres sports.

De même, la difficulté doit être adaptée aux différents niveaux inter-individuels rencontrés dans la population très large que représente les skieurs de loisir. Les exercices doivent être faits de manière correcte, sans compensations.

D'autre part, la sécurité doit être optimale pour ne pas risquer d'engendrer d'évènements indésirables. Ceci est en lien avec la difficulté des exercices mais aussi avec le fait de d'apprendre à les effectuer de manière correcte dès le début du suivi du programme. Cela nécessite pour le FIFA 11+ par exemple, deux à trois séances supervisées et corrigées par une personne qualifiée.

Enfin, l'indépendance des personnes doit être recherchée pour leur permettre de faire ce programme sans être limitées par le fait de devoir trouver un partenaire, ou d'avoir de matériel spécifique à disposition. La plupart des exercices doivent donc, une fois qu'ils sont bien appris sous supervision, être faisables seuls. Cela permettrait également à tout un chacun de pouvoir suivre ce programme à domicile.

Programme d'entraînement préventif spécifique aux skieurs de loisir

Pour tous les exercices, il sera important de porter une attention particulière au bon alignement des membres inférieurs (pas de décalage du genou en varus ou valgus) et à garder le haut du corps vertical et le bassin horizontal. Il faudra également veiller à maintenir les genoux à l'aplomb des orteils durant les exercices qui comportent de la flexion de genou. Pour finir, il faudra prêter attention à faire des atterrissages doux durant les exercices de pliométrie. Ces conseils permettront d'éviter que le programme d'entraînement n'entraîne des pathologies ou des blessures aux patients lors de sa pratique.

Les exercices peuvent être facilités en diminuant le nombre de répétitions pendant le temps donné pour effectuer l'exercice (le rythme), et il est possible d'augmenter la difficulté en faisant l'inverse.

Pour plus de clarté, des photos représentant les différents exercices sont disponibles en Annexe 6.

1 - Echauffement

a) Course lente (30 secondes)

La consigne donnée sera de courir lentement tout droit.

b) Rotations de hanches (30 secondes)

Le MK demande au patient, en position debout, de monter son genou devant lui de manière à présenter une flexion de hanche et de genou à 90°, puis d'effectuer une rotation externe de hanche maximale sans bouger le tronc et en conservant la flexion de genou et de hanche. Ensuite, le patient devra poser le pied au sol en étendant sa hanche et son genou mais en conservant la rotation externe de hanche. Enfin, le patient fera le trajet en sens inverse puis effectuera l'exercice avec son autre membre inférieur. Il faudra répéter l'exercice durant tout le temps imparti.

c) Pas chassés (30 secondes par côté)

Le MK demande au patient une légère flexion de genou et de hanche, avant de lui faire faire des pas chassés en veillant à ce que le poids de son corps soit porté sur ses avant-pieds.

d) Montées de genoux et talons-fesses (15 seconde chacun)

Pour les montées de genoux, le MK demande au patient de monter ses genoux devant lui l'un après l'autre, de manière à présenter une flexion de hanche et de genou à 90° avant de monter le genou controlatéral. Il faut que le patient n'ait jamais les deux pieds au sol en même temps.

Pour les talons-fesses, la consigne est de porter ses talons l'un après l'autre au niveau des fesses (ou le plus proche possible si la raideur du quadriceps ne le permet pas). Les deux pieds ne doivent jamais être au sol au même moment et il faut veiller à ce que le patient garde ses cuisses verticales pendant l'exercice.

Prendre 30 secondes de repos avant la partie suivante.

Le but de cette partie du programme d'entraînement est d'échauffer tous les muscles du membre inférieur et de mobiliser toutes ses articulations afin de pouvoir effectuer les exercices de renforcement et de pliométrie qui vont suivre en réduisant au maximum les risques de blessure.

2 - Renforcement

- a) Fentes avant avec contrôle de hanche (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

La position de départ est la station debout, avec les pieds écartés de la largeur du bassin, et les mains posées sur celui-ci. Le patient fait une fente avant, puis, en se relevant sur sa jambe avant, il doit étendre au maximum la hanche et le genou de sa jambe arrière (en gardant sa cheville en position neutre). Ensuite, tout en restant en station debout unipodale, le patient devra ramener sa jambe arrière pour venir la placer à l'avant (circumduction de hanche), en la gardant tendue et le plus possible horizontale tout le long du mouvement, qui doit être lent et contrôlé. Enfin, il pourra reposer cette jambe de manière à effectuer une fente avant et ainsi répéter l'exercice. Le MK devra veiller à ce que le patient expire au moment de se relever de la position de fente, et qu'il respire régulièrement pendant le reste de l'exercice.

Cet exercice cible le renforcement des muscles du membre inférieur, plus particulièrement du quadriceps et des stabilisateurs de hanche. Il existe également une composante de travail de l'équilibre car une grande partie de l'exercice est effectuée en unipodal.

- b) Renforcement des ischio-jambiers en excentrique (3 à 5 répétitions ou 30 secondes de travail en fonction de l'exercice, puis 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

Si un partenaire est disponible pour faire cet exercice avec le patient, le patient commencera en position à genoux dressé avec l'écartement de ses genoux de la largeur de son bassin. Veiller à mettre une surface molle (mais non glissante) sous les genoux du patient, comme un tapis de sport, afin de prévenir d'éventuelles douleurs dues à l'appui des genoux contre le sol. Il faut ensuite demander au patient de mettre ses mains sur ses épaules opposées. Prêter attention à donner au patient des consignes qu'il puisse répéter à son partenaire pour la bonne réalisation de l'exercice. Ces consignes sont que le partenaire doit tenir les chevilles du patient en se plaçant

derrière lui, et en gardant ses coudes tendus tout en portant son poids de corps au-dessus des chevilles qu'il maintient. L'exercice consiste pour le patient à se laisser tomber vers l'avant (en gardant les cuisses et le tronc alignés) le plus lentement possible jusqu'à ne plus pouvoir tenir. A ce moment-là, il devra se rattraper doucement sur ses mains en position de pompe. Ensuite le patient peut revenir en position de départ en fléchissant ses hanches et ses genoux. Le MK vérifie le bon placement respiratoire du patient qui est d'inspirer avant chaque répétition et d'expirer pendant la chute contrôlée vers l'avant. Cet exercice est à répéter 3 à 5 fois (il est possible d'augmenter le nombre de répétitions en fonction de la progression du patient).

Si aucun partenaire n'est disponible, la position de départ du patient est le décubitus avec les membres inférieurs présentant une flexion de hanches et de genoux à 90°. Dans cette position, le patient doit mettre ses talons sur le centre de l'assise d'une chaise. Ensuite, la consigne donnée par le MK est de relever le bassin jusqu'à former une ligne droite avec les cuisses et le tronc (tout en gardant les bras et la tête au sol). Puis le patient devra décoller un talon de la chaise, et redescendre lentement le bassin en position de départ. Une fois le bassin reposé, le patient pourra reposer son talon sur la chaise. Il faudra répéter l'exercice pendant 30 secondes en décollant un talon différent à chaque répétition. Le MK devra veiller au bon placement respiratoire du patient (inspiration à la montée, et expiration lente à la redescente).

Le renforcement des ischio-jambiers en excentrique est un point clé de la prévention des entorses du LCA. Le premier exercice est supposé plus efficace car il cible l'insertion distale des IJ, et donc le contrôle du tiroir antérieur du tibia sous le fémur, c'est pourquoi on le privilégiera. Néanmoins, dans un souci d'optimiser le fait d'être indépendant pour réaliser le programme, on présente le deuxième exercice qui peut être réalisé en autonomie au cas où personne ne pourrait aider le patient à effectuer le premier exercice. Le MK prendra donc soin de faire apprendre au patient les deux exercices.

- c) Squats complets finis sur la pointe des pieds (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

La position de départ du patient est la station debout, les pieds écartés de la largeur du bassin. Le MK demande alors au patient de fléchir des genoux et les hanches au maximum jusqu'à ce que les fesses touchent les talons en tendant les bras devant lui pour garder l'équilibre. Ensuite, le patient devra se redresser en position debout, puis

monter sur la pointe des pieds dans le même mouvement avant de revenir en position de départ pour répéter l'exercice. Les talons doivent rester collés au sol durant tout l'exercice, et les cuisses rester dans le plan sagittal. Si la position est difficilement tenable en position accroupie à cause de la raideur des triceps suraux, il est possible pour le patient de prendre un objet d'un certain poids dans les mains, afin de garder l'équilibre. Puis avec la répétition des séances, il faudra diminuer le poids tenu jusqu'à ne plus en porter. Le placement respiratoire du patient doit être d'inspirer à la descente et d'expirer à la montée.

Ici on fait des squats complets car on a vu que la chute en arrière était mise en jeu dans plusieurs mécanismes de blessure en ski alpin. Cette chute arrière est accompagnée d'une flexion presque maximale de genou. Il faut donc améliorer ce contrôle de genou pendant une flexion importante de genou pour pouvoir garder l'équilibre ou le retrouver, et ainsi protéger son genou.

- d) Pas chassés avec contrôle de hanche (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

Pour préparer l'exercice, il est nécessaire de placer une barre à la hauteur du grand trochanter du fémur du patient (un matériel accessible par le patient à son domicile peut être un manche à balais posé entre deux meubles par exemple). La position de départ dictée par le thérapeute est la station debout, à environ 45cm à côté de la barre qui doit être dans un plan sagittal par rapport au patient. La consigne donnée sera d'effectuer une fente latérale sous la barre puis de se relever de l'autre côté de celle-ci. Le MK veillera à diminuer le plus possible la rotation du tronc du patient durant cette tâche. Ensuite, le patient devra fléchir la hanche et le genou du membre inférieur qui est du côté de la barre, assez pour que le pied du patient soit plus haut que celle-ci. Puis, le patient aura pour consigne de faire une abduction de hanche à 90° et une extension de genou afin de passer le membre inférieure levé précédemment au-dessus de la barre. A noter que ce mouvement doit être lent et contrôlé. Enfin, il faudra que le patient ramène son membre inférieur en faisant le mouvement inverse, afin de revenir en position de départ pour pouvoir répéter l'exercice. Si il est trop difficile de lever la jambe aussi haut il est possible de mettre la barre plus basse mais après il sera plus difficile de passer dessous. Pour la réalisation de cet exercice, il est important de prévoir de quoi se rattraper en cas de perte d'équilibre. Le MK demande au patient

d'inspirer en descendant et d'expirer en se relevant de la fente latérale. Pour le reste de l'exercice, il faut respirer régulièrement.

Le but de cet exercice est de travailler l'équilibre et de renforcer tous les muscles stabilisateurs de hanche (particulièrement les abducteurs).

3 - Pliométrie

a) Squat jumps (30 secondes de travail et 30 secondes de repos)

La position de départ est la station debout, les pieds écartés de la largeur du bassin du patient. La consigne donnée par le MK sera de fléchir doucement les genoux et les hanches jusqu'à 90° pour arriver en position de squat. Ensuite on demande au patient de sauter le plus haut possible puis d'atterrir doucement (c'est-à-dire accompagner l'atterrissage avec une flexion de genoux) sur l'avant du pied. La flexion de genou durant l'atterrissage sera effectuée jusqu'à 90° (position de squat) pour pouvoir répéter l'exercice de manière fluide. Il faut que le patient inspire à la descente et expire en sautant.

Cet exercice est fait dans un but de renforcement des membres inférieurs, et de contrôle de la stabilité du genou lors d'exercices de pliométrie qui composent la majorité du travail musculaire en ski alpin (Cf. Types d'exercices préventifs).

b) Sauts latéraux (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

La position de départ est la station debout, à une distance de 40 cm d'une ligne placée au sol, dans un plan sagittal par rapport au patient. La consigne donnée au patient est de fléchir les genoux et les hanches à 90° (en position de squat), puis de sauter de l'autre côté de la ligne pour arriver à 40 cm de celle-ci. On demande que l'atterrissage soit doux (avec un premier contact sur la pointe des pieds et en l'accompagnant avec une flexion de genoux). Il faudra ensuite demander au patient descendre en position de squat dans le même mouvement que l'atterrissage pour répéter l'exercice. Il est important de demander au patient de s'assurer que ni la surface sur laquelle l'exercice est fait, ni les chaussures utilisées ne soient glissantes afin d'éviter des chutes. Pour le placement respiratoire, il faut demander au patient d'inspirer à l'atterrissage et d'expirer en sautant. On peut augmenter la difficulté de l'exercice en augmentant la distance d'écart à la ligne lors des sauts.

Cet exercice permet de travailler le renforcement des membres inférieurs ainsi que la stabilité du genou (surtout dans le plan frontal) lors d'une tâche de pliométrie. C'est cet exercice qui va se rapprocher le plus des mouvements que l'on fait lors de la pratique du ski alpin et c'est pourquoi on le répète deux fois, afin d'améliorer le plus possible le contrôle du genou lors de cette situation.

c) Sauts à 180° (30 secondes de travail et 30 secondes de repos)

Cet exercice est presque identique au squat jump sauf que pendant le saut on va demander au patient de faire un demi-tour (180°). L'atterrissage doit aussi être doux et commencer par la pointe des pieds. Pour répéter l'exercice, la consigne sera d'accompagner le mouvement de flexion du genou effectué lors de l'atterrissage pour arriver dans une position où la hanche et le genou sont fléchis à 90° avant de re-sauter (mais cette fois-ci dans l'autre sens par rapport au premier saut). Comme pour le squat jump, il faut que le patient inspire à la descente et expire en sautant.

Ici on travaille encore une fois le renforcement des membres inférieurs lors d'une tâche de pliométrie, mais le fait d'ajouter un mouvement dans le plan horizontal pendant le saut va permettre de travailler les rotateurs de genou à l'atterrissage.

4 - Gainage

Le thérapeute insistera sur la nécessité de respirer régulièrement tout le long des exercices de gainage.

a) Gainage frontal (30 secondes de travail, 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

Le patient doit se placer en procubitus, puis se mettre en appui sur la plante de ses orteils (les chevilles sont en position neutre et les pieds joints) et sur ses avant-bras. Les coudes sont en flexion à 90°, à la verticale des épaules et les paumes des mains sont posées au sol. Le corps doit donc faire une ligne droite de la tête aux talons. La consigne est de tenir la position le temps de l'exercice.

Le but de cet exercice est le renforcement des muscles abdominaux (surtout antérieurs) et travail de la stabilisation du corps.

b) Gainage latéral (30 secondes de travail par côté, puis 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

Le patient doit se placer en latérocubitus, puis se mettre en appui sur le bord latéral du pied qui est du côté du sol, et sur l'avant-bras homolatéral. Le coude homolatéral est en flexion à 90°, à la verticale de l'épaule homolatérale, et la paume de la main du même côté est posée au sol. Le corps doit faire une ligne droite de la tête aux pieds et rester dans un plan vertical. Le membre supérieur qui ne sert pas d'appui repose sur le corps du patient. La consigne est de tenir la position le temps de l'exercice.

Le but de cet exercice est le renforcement des muscles abdominaux (surtout latéraux) et travail de la stabilisation du corps.

c) Pont (30 secondes de travail puis 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

Le patient doit se placer en décubitus avec une flexion de genoux à 90° et la plante des pieds posés au sol. Ensuite, la consigne que lui donne le MK est de monter son bassin afin que ses cuisses et son tronc soit alignés puis de tenir le temps de l'exercice. Les bras et la tête restent toujours posés au sol.

Le but de cet exercice est le renforcement de la chaîne musculaire postérieure et travail de la stabilisation du corps.

Volume de travail

La séance d'exercices présentée plus haut dure entre 20 et 25 minutes. Le programme sera commencé 6 semaines avant le premier jour de ski. Il sera réalisé trois fois par semaine avant le premier jour de ski, sachant que les trois premières séances seront effectuées sous la supervision d'un MK afin de rendre le patient capable de faire cet entraînement chez lui en autonomie pour les autres séances. Puis, après les 6 premières semaines, il sera utilisé comme échauffement avant chaque journée de ski. Si le skieur ne skie que le week-end, il faudra qu'il fasse une séance dans la semaine pendant la saison de ski, en plus d'utiliser le programme comme échauffement avant chaque journée de ski.

Synthèse

Ce programme présente donc toutes les qualités que nous avons pu recueillir grâce à l'étude de la littérature précédemment effectuée, pour prévenir le risque d'entorse du LCA.

En réaction aux facteurs de risque formellement identifiés dans des études, un renforcement de toutes les faces des muscles du tronc est mis en place. En effet une

force et un équilibre insuffisant des muscles du tronc a été identifié comme étant un facteur de risque d'entorse du LCA (Cf. « état des lieux » dans la partie Introduction).

En réaction à la spécificité de la demande physique du ski alpin et des recommandations qui émergent dans ce sport : les exercices de renforcement musculaire ont été doublés car cela semble être un point clé en ski alpin par rapport aux autres sports (Mehl et al., 2018). De plus, les recommandations de Hydren et al. (2013) relatives à l'entraînement spécifique au ski alpin pour diminuer le nombre de blessures du LCA ont été prises en compte par l'incorporation des exercices « avec contrôle de hanche » et de squats complets.

En rapport à l'analyse des mécanismes de blessure, le programme comprend :

- Un renforcement des fléchisseurs de genou de manière excentrique pour aider le LCA à lutter contre le tiroir antérieur.
- Un renforcement des rotateurs du genou car la rotation de genou est à l'œuvre dans la plupart des mécanismes de blessure.
- Un renforcement des muscles stabilisateurs de hanche (en particulier les abducteurs) pour contrôler les mouvements de varus/valgus du genou.
- Des exercices avec une flexion maximale de genou pour mieux contrôler celui-ci dans les mécanismes impliquant une flexion de genou supérieure à 90° (chute vers l'arrière).
- Des exercices travaillant l'équilibre général du membre inférieur sont présents pour permettre également un meilleur contrôle du genou.

En rapport à ce qui a été étudié dans d'autres sports :

- Les principaux types d'exercice qui ont été inclus dans les programmes d'exercice efficaces dans d'autres sports sont aussi inclus dans ce programme (exercices pliométriques, d'équilibre et de proprioception, et de renforcement). Les exercices de courses n'ont pas été inclus dans ce programme car il s'agit d'exercices spécifiques aux sports de balle étudiés. Les étirements ne sont présents que dans deux programmes sur les quatre prouvés comme étant efficaces (Mehl et al., 2018) et ne semblent donc pas être un point clé de la prévention des entorses du ligament croisé antérieur. Cela étant, ils ne sont pas inclus dans ce programme.
- Le volume d'entraînement est en adéquation avec ce qui a été montré comme efficace dans ces sports (sessions de plus de 20 minutes, au moins deux ou trois

fois par semaines, pendant au moins 6 semaines, en pré-saison et pendant la saison de sport).

- Les recommandations de la méta-analyse de Petushek et al. (2018) ont été prises en compte, à savoir l'inclusion : d'un renforcement excentrique des IJ, d'exercices de fentes, du travail des triceps suraux par des exercices de mise sur la pointe des pieds, et des tâches de pliométrie.

En rapport aux éléments qui améliorent la faisabilité du programme :

- Le temps passé à l'effectuer n'est pas trop important (1h par semaine).
- La difficulté est accessible à une majorité de personnes (exercices avec le poids du corps, par série de 30 secondes) et des clés pour diminuer ou augmenter la difficulté de certains exercices sont données.
- Un seul exercice nécessite la présence d'un partenaire et une variante d'exercice est proposée dans les cas où personne ne serait disponible pour aider. De plus le matériel utile à la réalisation de ce programme est minime et accessible à tout un chacun. Le programme peut donc être effectué de manière totalement indépendante.
- Un maximum de sécurité est assurée : en effet les exercices sont faits en utilisant seulement le poids du corps et ils ne présentent pas de risque particulier d'autant qu'un échauffement est présent. De plus, les trois premières séances du programme seront effectuées sous supervision pour s'assurer que les exercices soient effectués de manière correcte.

Population

Identification

Il est possible d'identifier deux populations de skieurs de loisir. D'une part ceux qui font du ski alpin en club, et des compétitions pour leur plaisir personnel (ils ne sont pas rémunérés), et d'autre part ceux qui vont skier par eux même sur les pistes.

D'un point de vue pratique, il apparaît plus facile d'implémenter le programme dans le cadre d'un club. En effet, les skieurs en club vont skier de manière régulière et donc totaliser plus de journées skieurs que ceux qui achètent des forfaits pour skier de manière ponctuelle. Cela pourrait donc nécessiter moins de sujets à inclure pour avoir une puissance satisfaisante. De plus, recruter des clubs avec des entraîneurs qui accepteraient de mettre en place cet entraînement préventif, semble plus facile que de recruter les sujets un par un.

Cependant, la population des skieurs en club représente bien moins de skieurs que celle des skieurs qui vont aller par eux-mêmes sur les pistes. De plus, ce sont des skieurs qui ne sont pas débutants. Or, nous avons vu précédemment que les skieurs débutant présentaient un risque plus élevé de se blesser. Dans le but de cibler la population la plus vulnérable, et en même temps la plus générale, et nombreuse, nous ne nous restreindront pas aux skieurs faisant partie d'un club.

Critères d'inclusion

Les patients intéressés à participer à cette étude devront être âgés de 18 à 60 ans, et avoir prévu d'aller faire du ski alpin au moins six semaines après la date de leur recrutement, ceci afin de pouvoir effectuer le programme comme il a été décrit dans la partie « Intervention ». Les patients devront également signer un consentement éclairé pour pouvoir participer.

Critères de non inclusion

Les patients ne devront pas présenter comme antécédent médical d'entorses du ligament croisé antérieur. En effet, cette étude concerne la prévention primaire, c'est-à-dire la diminution de la survenue de blessures, et non pas la prévention tertiaire qui concerne la récurrence des blessures.

Si l'étude doit se poursuivre plus d'une saison pour permettre de recueillir des données sur un effectif suffisant (les prévisions seront faites grâce à une étude pilote), les patients ayant déjà participé à l'étude la saison précédente ne pourront pas participer à celle-ci une seconde fois.

De plus, les patients ne devront pas être rémunérés pour leur pratique du ski alpin, en accord avec le fait que l'on cible les skieurs de loisir.

Enfin, les patients pratiquants du ski de fond uniquement ne sont bien évidemment pas inclus car on s'intéresse au ski alpin (ski de piste).

Il n'y a pas d'autres critères d'inclusion car les patients qui sont en assez bonne santé pour aller faire du ski doivent être capables de réaliser le programme d'entraînement présenté plus haut sans risques.

Critères d'exclusion

Le patient sera exclu de l'étude si, pour quelque raison que ce soit, il ne prévoit plus d'aller skier. Il sera également exclu s'il ne participe pas aux trois premières séances du programme d'entraînement effectuées sous la supervision d'un MK.

Critères de jugement

Le critère de jugement principal sera le taux d'entorse du LCA dans chaque groupe. Le cas d'une rupture partielle du LCA sera considéré comme une entorse également. Les critères de jugement secondaires seront le taux de blessures situées aux membres inférieurs, et le taux de blessure général (excluant l'entorse du LCA). Dans le premier cas, l'hypothèse est que le programme, étant ciblé sur le contrôle du genou et de la hanche, pourrait également permettre d'éviter d'autres blessures de ces zones. Dans le deuxième cas, l'hypothèse est que le programme, ciblé sur le contrôle du genou et de la hanche, pourrait permettre d'éviter certaines chutes et les blessures qui y sont parfois associées.

Taille de l'échantillon

En nous basant sur les chiffres de la dernière saison de ski en France communiqués par l'association des médecins de montagne (2,57 blessés pour 1 000 JS et 18% de ces blessures étant des entorses du LCA (Médecins de montagne, 2018)) nous trouvons un risque d'entorse du LCA de 0,46 pour 1 000 JS. Avec un risque α de 0,05, une puissance de 80%, un test unilatéral, et une diminution des entorses du LCA espérée de 50% dans le groupe interventionnel (comme ce qui a été trouvé dans les autres sports étudiés dans la littérature (Webster & Hewett, 2018)), le site BiostaTGV nous indique qu'il faudrait 78 310 JS dans chaque groupe. Cela représente un très grand nombre de patients. En effet, même si chaque patient inclut achetait un forfait saison (qui est comptabilisé comme équivalent à 25 JS) il faudra quand même 3 133 patients dans chaque groupe. Cependant, le nombre de JS en France est supérieur à 51 millions et le nombre de JS nécessaire à notre étude correspondrait à 0,3% de toutes les journées skieur de France. Cela nécessitera donc une étude multicentrique et qui pourra être poursuivie pendant peut-être plus d'une saison de ski, ce qui est théoriquement faisable sachant que le risque d'entorse du LCA varie peu d'une année sur l'autre (Médecins de montagne, 2018). Le recrutement et la mise en place devront donc prendre en compte ces informations.

Recrutement et mise en place

Nous enverrons à chaque cabinet de masso-kinésithérapie de la région Auvergne Rhône Alpes (ARA) une invitation à participer bénévolement à cette étude. Evidemment, avant de lancer une étude de cette envergure, il sera nécessaire de réaliser une étude pilote sur quelques cabinets seulement afin de faire une estimation du nombre de participants qu'il sera possible d'avoir en recrutant sur toute la région et donc si l'étude a des chances d'être menée à bien et en combien de temps. Cela permettrait également d'ajuster le programme d'entraînement selon les premiers retours qui nous seront transmis.

Chaque cabinet répondant favorablement à l'invitation se verra envoyer les documents nécessaires à l'inclusion des participants (Annexe 3 et 7), ainsi qu'une affiche à mettre dans la salle d'attente à destination des patients et de leur entourage pour les informer de la possibilité de participer à cette étude. Nous pourrions être aidés en cela par l'Union Régionale des Professionnels de Santé (URPS) des MK ainsi que par l'Agence Régionale de Santé (ARS). En effet, cette étude visant la prévention, elle rentre dans le cadre du Projet Régional de Santé (PRS), sur un risque qui est particulièrement présent en région ARA étant donné que les stations présentes sur son territoire totalisent 74% des JS vendues en France chaque année (Domaines skiables de France, 2017).

Chaque cabinet participant à l'étude sera placé aléatoirement dans le bras contrôle ou dans celui de l'intervention afin de limiter la communication entre les patients qui ne sont pas du même groupe, et le biais qui pourrait en résulter. Les cabinets placés dans la branche interventionnelle recevront le programme d'entraînement et une fiche de suivi (Annexe 5) qu'ils pourront imprimer pour chaque participant. Les cabinets placés dans le groupe contrôle recevront une fiche de suivi spécifique (Annexe 4) et se verront remettre le programme d'entraînement après la fin de l'étude dans un souci d'équité.

Les personnes pourront prendre connaissance de l'étude en cours par le biais de l'affiche et en parler au MK afin qu'il réponde à leurs questions. Après avoir vérifié les critères d'inclusion et de non inclusion à l'étude, le MK pourra recueillir le consentement éclairé des participants (Annexe 7) et effectuer un premier recueil de données grâce à la fiche d'inclusion. Ces données comprendront l'identité du patient, ses informations de contact, son sexe, son âge, son niveau de ski (≤ 4 jours, < 1 saison

ou 25 jours, ≥ 1 saison ou 25 jours), et la date prévue de ses journées de ski. Elles nous seront transmises, puis chaque participant sera anonymisé.

Les participants du groupe contrôle se verront remettre la fiche de suivi correspondante où ils devront remplir le nombre de jour de ski qu'ils ont fait (avec justificatif) et s'ils se sont blessés durant leur pratique du ski. Si oui, le diagnostic médical devra être fourni.

Les participants du groupe interventionnel recevront le programme d'entraînement ainsi que la fiche de suivi correspondante où ils devront compléter leur participation à chaque séance du programme avec la date correspondante, ainsi que la date de chaque jour de ski effectué (avec justificatif) et si le programme d'entraînement a été fait avant chaque jour de ski également. De plus, il leur sera demandé si un quelconque évènement indésirable est survenu durant la pratique du programme, et ils pourront également nous faire parvenir toute autre information qu'il leur semblerait pertinente. Enfin, ils devront noter s'ils se sont blessés durant leur pratique du ski et, si oui, fournir le diagnostic médical correspondant. Les fiches de suivi seront retransmises au MK une fois que le patient aura fait toutes les journées de ski qu'il avait prévu.

Ici, la mise en aveugle des patients et des MK ne sera pas mise en place car elle est considérée trop complexe.

Il est à noter qu'une application mobile pourrait être une alternative pratique pour le recueil de données, le rappel des séances, et la réalisation du programme d'exercices (comme ce qui est déjà fait sur différentes applications de sport et santé). Cela peut également permettre d'améliorer la compliance au programme d'entraînement. Enfin, cela peut permettre de diminuer le coût financier de l'étude sachant qu'elle nécessite un nombre de patients très important.

Méthodes statistiques

Les critères de jugement sont des proportions (pourcentage de blessures). La variable étudiée est une variable qualitative nominale (blessure ou non). Nous utiliserons donc le test du Khi^2 adapté à la comparaison de proportions provenant de groupes indépendants pour chacun des critères de jugement. L'hypothèse nulle sera que les taux de blessure des deux groupes ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. L'hypothèse alternative sera que les taux de blessure des deux groupes sont significativement différents au seuil de 5%.

Il sera également nécessaire de comparer les caractéristiques des deux groupes (âge, sexe, niveau de ski) afin de s'assurer que les deux groupes ne soient pas significativement différents et avoir une information sur le biais qui pourrait en résulter. La moyenne d'âge sera donc comparée grâce à un test de Student adapté à la comparaison de moyennes provenant de groupes indépendants. Le sexe, étant une variable qualitative nominale, sera également comparé grâce à un test du Khi². Enfin, le niveau de ski est une variable qualitative ordinale. Cette variable sera transformée en variable quantitative discrète (≤ 4 jours, < 1 saison ou 25 jours, ≥ 1 saison ou 25 jours, devenant respectivement 1, 2, et 3) afin de pouvoir comparer les moyennes des deux groupes grâce à un test de Student.

L'analyse se fera per protocole : les patients perdus de vue ou exclus ne seront pas inclus dans l'analyse statistique. En effet, le but de cette étude est principalement de savoir si le programme tel que constitué est efficace dans la prévention des entorses du LCA. Une fois le programme d'entraînement validé, nous pourrons nous pencher sur la recherche des stratégies d'implémentations les plus efficaces dans cette population dans des études ultérieures.

Ethique

Avant de mettre en place ce protocole, il faudra obtenir une autorisation de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) et un avis favorable d'un Comité de Protection des Personnes (CPP).

Conflits d'intérêt

Il sera important de signaler si chacun des auteurs a, ou pas, des conflits d'intérêt qui aient un rapport avec cette étude.

Résultats

Critères de jugement

En termes de résultats, nous aurons donc les résultats des tests du Khi^2 concernant les trois critères de jugement établis. Nous pourrions donc conclure (ou pas) à la significativité de la réduction du taux de blessure grâce à la mise en place du programme d'entraînement pour ce qui est des entorses du LCA (critère principal) mais aussi pour les autres blessures du membre inférieur et pour les autres blessures en général (critères secondaires) qui pourraient survenir lors de la pratique du ski alpin.

Contrôle des biais

Nous allons également pouvoir savoir s'il n'y a effectivement pas de différences entre les deux groupes pour ce qui est de l'âge, du sexe, et du niveau de ski (bien que la randomisation doive contrôler les biais de sélection).

En résultats complémentaires, nous aurons également le taux de compliance avec le programme d'entraînement qui sera important à recueillir afin de s'assurer que si l'hypothèse nulle est acceptée, ce ne soit pas dû au fait que le programme n'ait pas été mis en place de manière correcte.

Informations complémentaires

Le nombre de sujets perdus de vue nous donnera une information sur la facilité de la mise en place du protocole dans la population étudiée mais n'aura pas d'incidence sur la significativité des résultats concernant les critères de jugement car l'analyse est effectuée per protocole et non en intention de traiter.

Certains événements indésirables en lien avec la mise en place du programme d'entraînement et non détectés par l'étude pilote préalablement effectuée pourront être signalés. Il sera important de les prendre en compte pour évaluer la balance bénéfices/risques de cette intervention. Cela donnera également des informations qui pourront permettre d'améliorer ce programme afin d'éviter ces événements.

Il sera possible de rechercher des résultats sur les sous-groupes comme par exemple la réduction du taux de blessure chez les débutant en ski alpin (moins de 4 jours de ski), les skieurs moyens, les skieurs confirmés, selon le sexe, et selon les tranches

d'âge, mais il est probable que la puissance de cette étude ne suffise pas à tirer de résultats significatifs à ces recherches plus spécifiques.

Discussion

Rappels

Au terme de cette étude, les résultats pourront soit permettre de conclure que le programme de prévention a été significativement efficace dans la prévention des entorses du LCA, soit ne pas être suffisants pour conclure à une significativité. Dans les deux cas, il convient d'être prudent dans l'interprétation de ces résultats.

Si l'étude montrait une efficacité, il faudrait se poser la question de la généralisabilité des résultats à la population générale cible : il s'agit de la validité externe. En effet, des résultats qu'il n'est pas possible d'appliquer à la population générale n'auront pas de pertinence clinique immédiate car il ne sera pas possible d'utiliser ces résultats sur le terrain sans futures recherches dans ce sens. De plus, il faut s'interroger sur les implications futures des résultats obtenus en matière d'utilité (rapport bénéfices/risques), d'applicabilité (rapport coûts/bénéfices), et de poursuite de la recherche scientifique dans ce domaine. Néanmoins, il faut garder à l'esprit qu'il persiste un risque α de 5% et que des résultats statistiquement significatifs pourrait n'être que le fruit du hasard.

Au contraire, si l'étude ne montrait pas d'efficacité, à part le fait que l'intervention ne soit pas assez efficace, cela pourrait être à cause d'une puissance trop faible, d'une mauvaise compliance des sujets à l'intervention, ou de biais non suffisamment contrôlés dans le protocole.

Enfin, quels que soient les résultats qui seront obtenus par la mise en place de ce protocole, la question se pose sur la confiance que nous pourrions avoir en ceux-ci : c'est la validité interne. Nous verrons donc la manière dont sont contrôlés, ou pas, les différents biais qui peuvent avoir une influence sur les résultats de l'étude, ainsi que les imprécisions que peut induire le protocole qui a été présenté.

Nous allons donc maintenant voir plus en détail les points cités ci-dessus : les faiblesses que peut avoir l'intervention, la validité externe, la validité interne, et enfin le rapport coûts/bénéfices d'un tel programme si il était mis en place dans la population générale de skieurs de loisir.

Programme d'entraînement

Le programme d'entraînement a été créé en se basant sur tous les indices que nous avons pu recueillir dans la littérature : l'analyse des mécanismes de blessure, ce qui a déjà été fait dans d'autres sports, et les recommandations déjà émises en ski alpin. Cependant, le travail effectué n'est pas une revue de littérature en tant que telle et avant de lancer un protocole comme celui-ci, il sera nécessaire de faire une revue de littérature sur chacun des points étudiés ici afin d'ajuster le programme d'entraînement en ayant l'appui de données exhaustives et qui proviennent d'articles dont la qualité a été vérifiée.

De plus, il serait intéressant de connaître l'avis de professionnels expérimentés de l'analyse biomécanique (pour ce qui est de la partie sur les mécanismes de blessures) et de la préparation physique, afin de perfectionner le programme d'entraînement constitué.

Validité externe

Population

Les critères d'inclusion, d'exclusion, et de non inclusion sont très larges et vont permettre de généraliser les résultats à toute la population des skieurs de loisir, à l'exception de la population mineure. Cependant, nous ne savons pas si les échantillons que nous avons inclus respectent la même proportion de personnes de chaque âge, de chaque type de forfait vendu (journée, semaine, saison), et de chaque niveau de ski, par rapport à la population générale des skieurs de loisir. Cela pourrait donc causer une différence entre les résultats de l'étude et ceux que l'on pourrait obtenir avec la population générale. Si le programme d'entraînement montre une efficacité, il sera sûrement nécessaire d'effectuer d'autres études afin d'avoir une puissance suffisante pour différencier les effets dans chaque sous-groupe.

De plus, il est possible que les personnes intéressées à participer à l'étude, se soient déjà intéressées à d'autres types de prévention, ce qui pourrait avoir comme effet que ces personnes aient d'emblée un risque de se blesser moins élevé que dans la population générale. Cela aurait comme conséquence de faire baisser la puissance de cette étude.

Thérapeutes

L'étude est multicentrique ce qui a comme conséquence qu'il est possible de généraliser les résultats à tous les cabinets de MK : ce programme d'entraînement peut être effectué sous la supervision de n'importe quel MK travaillant en libéral en France.

Validité interne

Biais

Premièrement, pour ce qui est des biais de sélection : le biais de recrutement est contrôlé par la randomisation. L'analyse statistique de la comparabilité des principales caractéristiques des deux groupes permettra de s'en assurer. Le biais des perdus de vue fait risquer une baisse de puissance de l'étude à cause de la baisse d'effectifs. Un biais effet-centre pourra être présent du fait que la randomisation n'est pas stratifiée par centre. Ici, le choix a été fait de placer chaque patient d'un centre dans le même bras de l'étude et non qu'il y ait autant de patients des deux bras dans chaque centre. Un centre recrutant beaucoup de patients et ayant une manière légèrement différente d'implémenter le programme d'exercices par rapport aux autres centres pourrait donc biaiser les résultats de l'étude. Si l'étude doit se poursuivre plus d'un an, les sujets ne pourront pas y participer une seconde fois, ce qui contrôle le biais des survivants. Enfin, pour ce qui est du biais d'attrition (qui résulterait d'une probabilité différente d'exclusion entre les deux groupes du fait de l'intervention), il reste présent, mais comme il a été déjà expliqué plus haut, nous nous intéressons tout d'abord à savoir si le programme d'entraînement bien réalisé est efficace et non pas si la manière dont il est mis en place permet une compliance suffisante.

Deuxièmement, pour ce qui est des biais de classement : le biais d'évaluation est contrôlé par le fait que les résultats recueillis sont des diagnostics médicaux réalisés par des personnes extérieures à l'étude. Il n'y aura donc pas de différences entre les deux groupes de ce point de vue là. Le biais de suivi est présent car la mise en aveugle des patients et des expérimentateurs n'est pas prévue.

Troisièmement, pour ce qui est des biais de confusion : ils sont prévenus par la présence du groupe contrôle. Néanmoins, on note qu'il pourrait y avoir un effet nocebo de par le fait que les patients du groupe interventionnel pourraient faire moins attention sur les pistes en sachant qu'ils se sont préparés à skier dans l'objectif de ne pas se blesser pendant plusieurs semaines. De plus, les patients du groupe interventionnel,

passant plus de temps avec le MK, auront par exemple l'opportunité de se renseigner sur les différentes manières d'éviter les blessures en ski alpin autrement que par la préparation physique (réglage des fixations,...) ce qui ajouterait des effets non liés au programme d'entraînement en lui-même.

Imprécisions

Ce protocole ne permettra pas de différencier les effets liés au fait de s'échauffer avant chaque journée de ski, du programme d'entraînement qui est effectué au préalable durant les six semaines. Il pourrait être intéressant par la suite de différencier ces effets par d'autres études si le programme tel que constitué ici montre une efficacité.

Implications pour l'avenir

Rôle des masseur-kinésithérapeutes

Ce protocole a l'avantage de faire participer les MK libéraux à des activités de recherche, ce qui est pour l'instant une activité plutôt dévolue à des MK travaillant en milieu hospitalier ou dans des centres de rééducation. Cela pourrait inciter certains de ces MK libéraux à vouloir faire de la recherche, et développer la profession dans ce sens.

La seconde implication pour les MK est que si ce protocole montre une efficacité, ils pourront l'utiliser dans leur cabinet et ainsi développer la part de leur prise en charge qui constitue de la prévention. Cela est en accord avec la stratégie de santé actuelle. Bien évidemment, pour que cette prise en charge se développe, il faut qu'elle soit remboursée aux patients comme le reste de la prise en charge en MK. Afin d'appuyer cette demande, cette prise en charge doit présenter un rapport coût/bénéfices satisfaisant.

Rapport coûts/bénéfices

Le protocole de recherche présenté précédemment est un protocole qu'il sera difficile à mettre en place du fait du nombre important de sujet nécessaire à l'obtention d'une puissance correcte pour l'analyse statistique. En plus de commencer par faire une étude pilote sur quelques cabinets de MK, il est nécessaire de s'assurer que les résultats que nous recherchons permettent (s'ils sont significatifs) de mettre en place une stratégie de prévention dont le rapport coût/bénéfices soit intéressant.

En se basant sur les études réalisées dans d'autres sports que le ski alpin (Webster & Hewett, 2018), nous espérons que le programme mis en place réduise le taux de blessure du LCA de 50%. Le programme d'entraînement permettrait, s'il montre une efficacité similaire, de passer d'un taux de blessure de 0,46 pour 1 000 JS (soit une entorse du LCA toutes les 2 173 JS), à 0,23 pour 1 000 JS (soit une entorse du LCA toutes les 4 347 JS). Il faudrait donc faire effectuer le programme à un groupe de sujets qui totaliserait 4 347 journées de ski dans la saison pour éviter une entorse du LCA.

Dans l'introduction, nous avons pu voir qu'une entorse du LCA lorsque la stratégie chirurgicale de reconstruction du ligament est choisie, coûtait à la société américaine 27 452 dollars en moyenne en prenant en compte le coût des arrêts de travail et indemnités d'invalidité (Mather et al., 2013). Cela correspond environ à 25 000 euros. N'ayant pas été capable de trouver d'étude investiguant ces coûts en France, nous nous baseront sur les chiffres des Etats-Unis.

Le programme nécessite de faire les trois premières séances chez un MK. Nous allons imaginer qu'une cotation soit mise en place pour ce type de prise en charge afin qu'elle soit remboursée comme une séance de MK classique. Ici, on prendra comme référence une cotation AMS 7 (soit 14,30€) qui est une cotation moyenne pour les MK en France.

Considérant toutes les informations citées précédemment, il ne serait bien-sûr pas intéressant de faire faire le programme à 4 347 patient qui ne skieraient qu'une seule journée. Cela reviendrait à dépenser 186 486€ pour éviter une entorse du LCA coûtant 25 000€. Si pour totaliser les 4 347 JS nécessaires à éviter une blessure, le programme n'était réalisé que sur des patients allant skier 7 jours, il faudrait implémenter ce programme chez 621 patients et donc dépenser 26 640€ pour rémunérer les MK. Le rapport coût/bénéfices pour les sujets allant skier 7 jours serait donc environ égal à 1. Cela ne permettrait pas d'économiser de l'argent mais cela permettrait quand même d'éviter un certain nombre de blessures aux gens effectuant ce programme. Enfin, si ce programme n'était fait que chez des patients allant skier 25 jours dans la saison (ce qui correspond à l'achat d'un forfait saison), il faudrait traiter 174 sujets pour éviter une blessure soit dépenser 7 460€ pour éviter une blessure coûtant à la société 25 000€. Le rapport coût/bénéfices dans ce cas-là est donc très intéressant.

Il est nécessaire de rappeler que ces calculs sont faits avec le coût américain du soin des entorses du LCA et qu'il faudrait pouvoir se baser sur les chiffres français pour

pouvoir calculer un rapport plus précis. Néanmoins, il est possible que le calcul des bénéfices soit sous-estimé à cause de l'absence de prise en compte des effets à long terme du programme (il est possible que le programme présente une efficacité la saison suivante de celle où il a été fait la première fois). Il peut aussi être sous-estimé en raison du fait que le programme puisse prévenir d'autres blessures que l'entorse du LCA. Enfin, les patients ayant participé au programme une année n'auraient pas besoin de retourner chez le MK l'année suivante pour effectuer le programme car ils l'auront déjà appris, ce qui peut également participer à la sous-estimation des bénéfices de ce programme.

Nous pouvons donc conclure que le rapport coût bénéfices d'une stratégie de prévention telle qu'exposée précédemment est intéressant, particulièrement en ce qui concerne les personnes allant skier une semaine ou plus durant la saison.

Conclusion

Ce qu'apportera cette étude

Il s'agira de la première étude investiguant la prévention des blessures par la préparation physique spécifique en ski alpin. Ici, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'étude du taux d'entorse du LCA qui est la blessure la plus fréquente en ski alpin et à la population des skieurs de loisir qui est la plus importante et en constante augmentation.

Cette étude permettra au MK libéraux français de s'investir dans un protocole de recherche et donc de développer cette activité qui fait maintenant partie intégrante de leurs compétences.

L'objectif est à terme que l'avancée de la recherche dans ce domaine (dont cette étude est l'un des jalons) puisse leur permettre de proposer des séances de gymnastique physique préventive, basées sur un protocole d'entraînement validé scientifiquement. Cette activité de prévention pourra trouver sa place dans la stratégie nationale de santé actuelle et on peut imaginer à terme que ces séances soient remboursées aux patients chez qui le rapport coût/bénéfices est avantageux.

Cependant, avant d'en arriver là, il faudra continuer à avancer dans les étapes de la méthode proposée par Van Mechelen et al pour mettre en place une prévention efficace des blessures en sport, cette étude faisant partie de la troisième étape. Pour se faire, des études complémentaires à celle-ci seront nécessaires.

Etudes complémentaires ultérieures

De nouvelles études seront donc nécessaires pour améliorer le programme d'entraînement exposé dans celle-ci, ou de confirmer son efficacité grâce à une analyse en intention de traiter par exemple. Si plusieurs recherches de ce type sont effectuées, la puissance pourra être suffisante pour effectuer une analyse en sous-groupe de l'utilité du programme. D'autres études pourront également s'intéresser à développer des stratégies d'implémentation de ce programme pour trouver les plus efficaces. Il serait pertinent d'effectuer des études précises sur le coût de la prise en charge des entorses du LCA en France afin de calculer un rapport coût/bénéfices précis des stratégies de prévention de ces blessures.

Enfin, il est à noter que la prévention des blessures dans ce sport ne se limite pas à la préparation physique et qu'en conséquence, mettre en place des stratégies de prévention à destination des skieurs de loisir devra prendre en compte toutes les facettes du problème comme celles liées au matériel ou au comportement sur les pistes, des points qui ont déjà été en partie investigués dans la littérature.

Bibliographie

- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(7), 705-729. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1>
- Arendt, E., & Dick, R. (1995). Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(6), 694-701. <https://doi.org/10.1177/036354659502300611>
- Bere, T., Flørenes, T. W., Krosshaug, T., Koga, H., Nordsletten, L., Irving, C., ... Bahr, R. (2011). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in World Cup alpine skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(7), 1421-1429. <https://doi.org/10.1177/0363546511405147>
- Bere, T., Mok, K.-M., Koga, H., Krosshaug, T., Nordsletten, L., & Bahr, R. (2013). Kinematics of anterior cruciate ligament ruptures in World Cup alpine skiing: 2 case reports of the slip-catch mechanism. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(5), 1067-1073. <https://doi.org/10.1177/0363546513479341>
- BiostaTGV - Statistiques en ligne. (s. d.). Consulté 19 janvier 2019, à l'adresse <https://biostatgv.sentiweb.fr/?module=etudes/sujets#>
- Code de la santé publique - Article R4321-13, R4321-13 Code de la santé publique § (2004). Consulté à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006913995&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20060803>
- COFEMER. (2010). *Les lésions ligamentaires du genou en MPR*. COFEMER. Consulté à l'adresse <http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/DIUAG2010lesliggenou.pdf>
- Davidson, T. M., & Laliotis, A. T. (1996). Alpine skiing injuries. A nine-year study. *The Western Journal of Medicine*, 164(4), 310-314.
- Domaines skiabiles de France. (2017). *Indicateurs et analyses 2017*. Domaines skiabiles de France. Consulté à l'adresse <http://www.domaines-skiabiles.fr/fr/publications/observatoire/>
- Donnell-Fink, L. A., Klara, K., Collins, J. E., Yang, H. Y., Goczalk, M. G., Katz, J. N., & Losina, E. (2015). Effectiveness of Knee Injury and Anterior Cruciate Ligament Tear Prevention Programs: A Meta-Analysis. *PloS One*, 10(12), e0144063. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144063>
- Dufour, M., Gedda, M., & Samuel, J. (2007). *Dictionnaire de kinésithérapie et réadaptation*. (J.-F. d'Ivernois, Éd.). Paris, France: Maloine, 2007.

- Dufour, M., Pillu, M., Dufour, M., Langlois, K., Valle Acedo, S. del, Lavaste, F., & Pillet, H. (2017). *Biomécanique fonctionnelle : membres, tête, tronc* (2è éd.). Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier Masson.
- Ettlinger, C. F., Johnson, R. J., & Shealy, J. E. (1995). A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(5), 531-537. <https://doi.org/10.1177/036354659502300503>
- Fasel, B., Spörri, J., Schütz, P., Lorenzetti, S., & Aminian, K. (2017). Validation of functional calibration and strap-down joint drift correction for computing 3D joint angles of knee, hip, and trunk in alpine skiing. *PLoS ONE*, 12(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181446>
- Flajolet, A. (2008). *Rapport Flajolet*. Ministère de la santé, de la jeunesse, des sports, et de la vie associative. Consulté à l'adresse https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_Flajolet.pdf
- Geyer, M., & Wirth, C. J. (1991). [A new mechanism of injury of the anterior cruciate ligament]. *Der Unfallchirurg*, 94(2), 69-72.
- Girardi, P., Braggion, M., Sacco, G., De Giorgi, F., & Corra, S. (2010). Factors affecting injury severity among recreational skiers and snowboarders: an epidemiology study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 18(12), 1804-1809. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1133-1>
- Hébert-Losier, K., & Holmberg, H.-C. (2013). What are the exercise-based injury prevention recommendations for recreational alpine skiing and snowboarding? A systematic review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(5), 355-366. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0032-2>
- Howard, J. S., Fazio, M. A., Mattacola, C. G., Uhl, T. L., & Jacobs, C. A. (2011). Structure, sex, and strength and knee and hip kinematics during landing. *Journal of Athletic Training*, 46(4), 376-385.
- Hume, P. A., Lorimer, A. V., Griffiths, P. C., Carlson, I., & Lamont, M. (2015). Recreational Snow-Sports Injury Risk Factors and Countermeasures: A Meta-Analysis Review and Haddon Matrix Evaluation. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(8), 1175-1190. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0334-7>
- Hydren, J. R., Volek, J. S., Maresh, C. M., Comstock, B. A., & Kraemer, W. J. (2013). Review of Strength and Conditioning for Alpine Ski Racing. *Strength & Conditioning Journal*, 35(1), 10. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31828238be>
- Jacobs, C. A., Uhl, T. L., Mattacola, C. G., Shapiro, R., & Rayens, W. S. (2007). Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. *Journal of Athletic Training*, 42(1), 76-83.
- Järvinen, M., Natri, A., Laurila, S., & Kannus, P. (1994). Mechanisms of anterior cruciate ligament ruptures in skiing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 2(4), 224-228.

- Jordan, M. J., Aagaard, P., & Herzog, W. (2017a). Anterior cruciate ligament injury/reinjury in alpine ski racing: a narrative review. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 8, 71-83. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S106699>
- Jordan, M. J., Aagaard, P., & Herzog, W. (2017b). Anterior cruciate ligament injury/reinjury in alpine ski racing: a narrative review. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 8, 71-83. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S106699>
- Kamina, P., & Martinet, C. (2009). *Anatomie clinique : Tome 1, anatomie générale, membres* (4^e éd.). Paris, France: Maloine.
- Kapandji, A. I., & Judet, T. (2009). *Anatomie fonctionnelle : Tome 2, membre inférieur* (6^e éd.). Paris, France: Maloine.
- Koller, A., Fuchs, B., Leichtfried, V., & Schobersberger, W. (2015). Decrease in eccentric quadriceps and hamstring strength in recreational alpine skiers after prolonged skiing. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 1(1). <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000028>
- Mather, R. C., Koenig, L., Kocher, M. S., Dall, T. M., Gallo, P., Scott, D. J., ... Spindler, K. P. (2013). Societal and Economic Impact of Anterior Cruciate Ligament Tears. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American volume*, 95(19), 1751-1759. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01705>
- Médecins de montagne. (2012). *Lésions du pivot central et entorses graves du genou*. Médecins de montagne. Consulté à l'adresse http://www.mdem.org/telecharger.php?nomfichier=/page/france/fichier/455_ramatuelle.LCAmaisse.pdf&name=455_ramatuelle.LCAmaisse.pdf
- Médecins de montagne. (2018). *L'accidentologie des sports d'hiver saison 2016/2017*. Médecins de montagne. Consulté à l'adresse <http://www.mdem.org/france/DT1190189670/page/Les-chiffres.html>
- Mehl, J., Diermeier, T., Herbst, E., Imhoff, A. B., Stoffels, T., Zantop, T., ... Achtnich, A. (2018). Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 138(1), 51-61. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2809-5>
- Morrissey, M. C., Seto, J. L., Brewster, C. E., & Kerlan, R. K. (1987). Conditioning for skiing and ski injury prevention. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 8(9), 428-437.
- Petushek, E. J., Sugimoto, D., Stoolmiller, M., Smith, G., & Myer, G. D. (2018). Evidence-Based Best-Practice Guidelines for Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Young Female Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 363546518782460. <https://doi.org/10.1177/0363546518782460>
- Pujol, N., Blanchi, M. P. R., & Chambat, P. (2007). The incidence of anterior cruciate ligament injuries among competitive Alpine skiers: a 25-year investigation. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(7), 1070-1074. <https://doi.org/10.1177/0363546507301083>

- Ruedl, G., Helle, K., Tecklenburg, K., Schranz, A., Fink, C., Posch, M., & Burtscher, M. (2015). [Impact of Self-Reported Fatigue on ACL Injuries in Alpine Skiing: A Sex Comparison]. *Sportverletzung Sportschaden: Organ Der Gesellschaft Fur Orthopadisch-Traumatologische Sportmedizin*, 29(4), 226-230. <https://doi.org/10.1055/s-0041-106948>
- Rust, D. A., Gilmore, C. J., & Treme, G. (2013). Injury patterns at a large Western United States ski resort with and without snowboarders: the Taos experience. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(3), 652-656. <https://doi.org/10.1177/0363546512472045>
- Savoie Orthopédie Chirurgicale. (2011). E 3.8.1 Les lésions ligamentaires du genou. Consulté 17 octobre 2018, à l'adresse https://www.orthopedie-savoie.fr/upload/E_3.08.1a_Les_lesions_ligamentaires_genou_LCA_examen_-_texte.pdf
- Silvers-Granelli, H. J., Bizzini, M., Arundale, A., Mandelbaum, B. R., & Snyder-Mackler, L. (2017). Does the FIFA 11+ Injury Prevention Program Reduce the Incidence of ACL Injury in Male Soccer Players? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 475(10), 2447-2455. <https://doi.org/10.1007/s11999-017-5342-5>
- Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., ... Andersen, T. E. (2008). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 337, a2469. <https://doi.org/10.1136/bmj.a2469>
- Spörri, J., Kröll, J., Gilgien, M., & Müller, E. (2017). How to Prevent Injuries in Alpine Ski Racing: What Do We Know and Where Do We Go from Here? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(4), 599-614. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0601-2>
- Sugimoto, D., Myer, G. D., Foss, K. D. B., & Hewett, T. E. (2014). Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes: meta- and sub-group analyses. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(4), 551-562. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0135-9>
- Taylor, J. B., Waxman, J. P., Richter, S. J., & Shultz, S. J. (2015). Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49(2), 79-87. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092358>
- Van Mechelen, W., Hlobil, H., & Kemper, H. C. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 14(2), 82-99.
- Webster, K. E., & Hewett, T. E. (2018). Meta-analysis of meta-analyses of anterior cruciate ligament injury reduction training programs. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*. <https://doi.org/10.1002/jor.24043>
- Willadsen, E. M., Zahn, A. B., & Durall, C. J. (2018). What Is the Most Effective Training Approach for Preventing Noncontact ACL Injuries in High School-Aged Female

Athletes? *Journal of Sport Rehabilitation*, 1-5. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0055>

Annexes

Annexe 1 : Définitions

Annexe 2 : Caractéristiques des programmes d'entraînement physique préventif des entorses du LCA étudiés en sport

Annexe 3 : Fiche d'inclusion

Annexe 4 : Fiche de suivi - Groupe contrôle

Annexe 5 : Fiche de suivi - Groupe interventionnel

Annexe 6 : Photos explicatives du programme d'entraînement

Annexe 7 : Consentement éclairé

Annexe 1 : Définitions

Chaîne cinétique fermée (CCF) :

« Biomécanique : ensemble des maillons musculaire successifs, formant une unité fonctionnelle dont les deux extrémités sont fixées ou suffisamment résistantes (appui distal) pour le mouvement qui s'opère entre celles-ci. Par simplification, le terme de chaîne fermée est utilisé comme synonyme de mouvement proximo-distal, c'est-à-dire lorsque l'extrémité distale devient fixe. » (Dufour, Gedda, & Samuel, 2007)

Chaîne cinétique ouverte (CCO) :

« Biomécanique : ensemble des maillons musculaires successifs, formant une unité fonctionnelle dont une des extrémités, au moins, est libre, sans charge, ou suffisamment peu résistante, pour que le mouvement s'opère sans difficulté. Contraire : chaîne cinétique fermée. » (Dufour et al., 2007)

Journées Skieurs (JS) :

« Le nombre de journées skieurs est égal au nombre de journées commercialisées. Tous les forfaits émis sont valorisés en journées skieurs (y compris les gratuits ne générant pas de recettes), sauf quelques exceptions listées plus bas.

Chaque forfait 1 jour, ½ journée ou 3 heures et plus = 1 journée-skieur ·

1 forfait pluri-journalier = selon la durée (ex : 6 jours = 6 journées-skieurs) ·

1 forfait saison (toutes catégories) = 25 journées-skieurs ·

1 carnet de tickets = 1.5 journée-skieur

Exceptions des recettes ne générant pas de journées-skieurs : Titres émis au titre des polyvalences entre domaines car ils ont déjà été comptabilisés en journées dans la station d'émission du titre ; extensions du domaine (payantes ou non) quand le forfait de base a déjà été émis ; piétons & allers-retours ; salariés qui skient dans la station où ils sont employés ; duplicata éventuellement délivrés. »

Ce chiffre est communiqué par Domaines Skiabiles de France : www.domaines-skiabiles.fr

Annexe 2 : Caractéristiques des programmes d'entraînement physique préventif des entorses du LCA étudiés en sport

Table 4 Overview of established warm up programs for injury prevention

Name	Discipline	Exercises	Duration (approx.)	Scientific evidence	Web address
FIFA 11+	Football	R, P, S, B	20 min	Soligard et al. [61]	www.dfb.de/trainer/b-juniorin/artikel/fifa-11-310/ www.fmarc.com/downloads/cards/11pluscards_d.pdf www.f-marc.com/11plus/startseite/
Prevent injury and enhance performance (PEP)	Football	R, P, S, F	20 min	Mandelbaui et al. [41]	smsmf.org/files/PEP_program_04122011.pdf
Sportsmetrics	Football, basketball, tennis, volleyball	P, S	60 min	Hewett et al. [27, 28]	http://sportsmetrics.org/
Harmo Knee Prevention Program	Football, basketball	R, P, B, F	20–25 min	Kiani et al. [35]	harmoknee.com
“Sei kein Dummy” (prevention program of VBG)	Football	R, P, S, F	20–30 min	–	http://www.vbg.de/Shared-Docs/Medien-Center/DE/Broschuere/Branchen/Sport/Trainingsuebungen_fuer_ein_starkes_FuBballteam.pdf?_b

R running exercises, *P* plyometrics (jumping exercises), *S* strengthening exercises, *B* balance training, *F* flexibility training/stretching

Tableau 1 : caractéristiques des programmes de prévention des entorses du LCA basés sur la préparation physique spécifique étudiés dans la littérature d'après Mehl et al (2018).

Annexe 3 : Fiche d'inclusion

Nom :

Prénom :

Sexe : M / F

Date de naissance :

Adresse :

Mail :

Téléphone :

Niveau de ski : ≤ 4 jours.

< 1 saison ou 25 jours.

≥ 1 saison ou 25 jours.

Date des jours prévus de ski :

Annexe 4 : Fiche de suivi - Groupe contrôle

Patient N° :

Remplir la date et les jours de ski effectués dans chaque case (joindre un justificatif) :

Vous êtes-vous blessé durant votre pratique du ski alpin ? Si oui, quelle est cette blessure ? (Joindre le diagnostic médical) :

Annexe 5 : Fiche de suivi - Groupe interventionnel

Patient N° :

Remplissez la date des séances que vous avez effectuées avant votre premier jour de ski :

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	15
16	17	18

Remplissez la date de chaque jour de ski que vous avez effectué (joindre un justificatif). Cochez la case si vous avez fait le programme en tant qu'échauffement pour chacun de ces jours.

Mettez une croix entre deux cases si vous avez fait le programme en semaine entre deux weekends où vous êtes allé skier.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vous êtes-vous blessé durant votre pratique du ski alpin ? Si oui, quelle est cette blessure ? (Joindre le diagnostic médical) :

Des évènements indésirables ont-ils eu lieu pendant que vous effectuiez le programme ?

Avez-vous des remarques particulières à faire ?

Annexe 6 : Photos explicatives du programme d'entraînement

1 - Echauffement

a) Course lente (30 secondes)



b) Rotations de hanches (30 secondes)



c) Pas chassés (30 secondes par côté)



d) Montées de genoux et talons-fesses (15 seconde chacun)



Prendre 30 secondes de repos avant la partie suivante

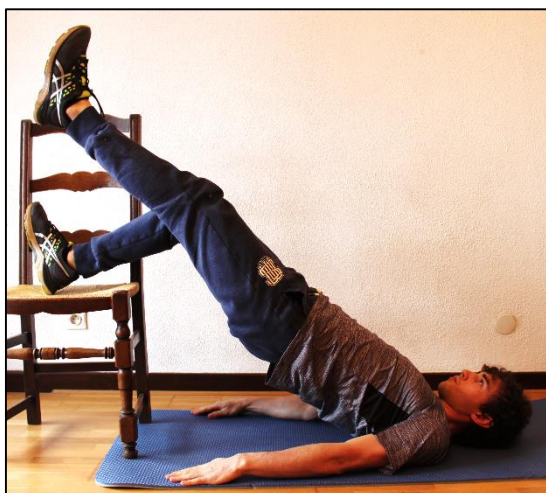
2 - Renforcement

- a) Fentes avant avec contrôle de hanche (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)



- b) Renforcement des ischio-jambiers en excentrique (3 à 5 répétitions ou 30 secondes de travail en fonction de l'exercice, puis 30 secondes de repos, à répéter deux fois)





OU



- c) Squats complets finis sur la pointe des pieds (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)

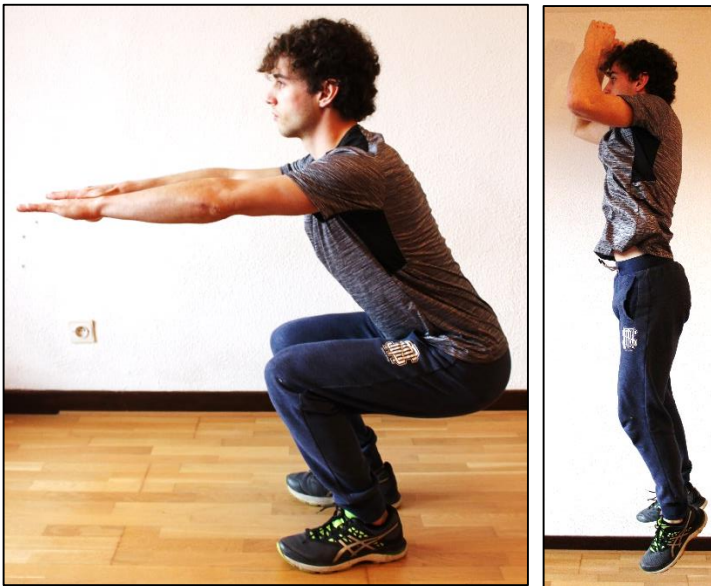


- d) Pas chassés avec contrôle de hanche (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)



3 - Pliométrie

a) Squat jumps (30 secondes de travail et 30 secondes de repos)



b) Sauts latéraux (30 secondes de travail et 30 secondes de repos, à répéter deux fois)



c) Sauts à 180° (30 secondes de travail et 30 secondes de repos)



4 - Gainage

a) Gainage frontal (30 secondes de travail, 30 secondes de repos, à répéter deux fois)



b) Gainage latéral (30 secondes de travail par côté, puis 30 secondes de repos, à répéter deux fois)



c) Pont (30 secondes de travail puis 30 secondes de repos, à répéter deux fois)



Annexe 7 : Consentement éclairé

Seront rajoutés en en tête : « **Titre de la recherche : Prévention LCA Ski** », et en pied de page : « Projet approuvé par le Comité d'éthique de la recherche de _____ (no d'approbation _____), le _____ initiales _____ »

Formulaire de consentement

Présentation du chercheur

Cette recherche est réalisée dans le cadre du mémoire de fin d'étude de Lucas Lippolis, dirigé par Marie Geronimi, du département de masso-kinésithérapie de l'Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire et de comprendre les renseignements qui suivent. Ce document vous explique le but de ce projet de recherche, ses procédures, avantages, risques et inconvénients. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles à la personne qui vous présente ce document.

Nature de l'étude

La recherche a pour but d'étudier l'efficacité d'un programme d'exercices dans la prévention du risque d'entorse du ligament croisé antérieur en ski alpin chez les skieurs de loisir.

Déroulement de la participation

Votre participation à cette recherche consiste, en fonction du groupe auquel vous êtes placé aléatoirement, soit à :

- Nous donner des informations sur le nombre de jours de ski alpin que vous allez faire cette saison, ainsi que, si il y a lieu, le diagnostic médical des blessures que vous avez pu subir lors de cette activité (un justificatif attestant votre participation à ces journées de ski vous sera demandé).

Soit, en plus de l'alinéa précédent, à :

- Faire le programme d'exercices créé pour cette étude. Ce programme est constitué de 3 séances de 20 minutes par semaine pendant 6 semaines avant votre premier jour de ski. Les trois premières séances seront effectuées sous contrôle du masseur-

kinésithérapeute (MK) qui vous a fait connaître cette étude afin que vous puissiez faire les séances suivantes en autonomie. Ensuite, il faudra effectuer une séance en tant qu'échauffement avant chaque journée de ski. Si vous ne skiez que le week-end, il faudra ajouter une séance dans la semaine. Une fiche de suivi vous sera transmise qu'il faudra remplir consciencieusement pour que nous puissions évaluer votre degré de participation au programme d'exercices.

Avantages, risques ou inconvénients possibles liés à votre participation

Le fait de participer à cette recherche vous offre une occasion de vous préparer physiquement à votre pratique du ski alpin et peut vous permettre de réduire votre risque de blessures. En outre, la pratique d'une activité physique régulière sera toujours bénéfique à votre santé en général.

Il est possible que la pratique du programme d'exercice tel que constitué entraîne des douleurs musculaires ou des événements indésirables (chute, entorse, tendinopathie, autres pathologies). Cela reste peu probable du fait de l'apprentissage du programme auprès d'un MK. Toutefois, si quelque gêne que se soit se produit, n'hésitez pas à en parler avec le MK qui vous suit. Celle-ci pourra vous conseiller sur la marche à suivre.

Participation volontaire et droit de retrait

Vous êtes libre de participer à ce projet de recherche. Vous pouvez aussi mettre fin à votre participation sans conséquence négative ou préjudice et sans avoir à justifier votre décision. Si vous décidez de mettre fin à votre participation, il est important d'en prévenir le chercheur dont les coordonnées sont incluses dans ce document. Tous les renseignements personnels vous concernant seront alors détruits.

Confidentialité et gestion des données

Les mesures suivantes seront appliquées pour assurer la confidentialité des renseignements fournis par les participants:

- les noms des participants ne paraîtront dans aucun rapport;
- les divers documents de la recherche seront codifiés et seul le chercheur aura accès à la liste des noms et des codes;
- les résultats individuels des participants ne seront jamais communiqués;

- les matériaux de la recherche, incluant les données et les enregistrements, seront conservés sous clé ou sur ordinateur protégé par un mot de passe. Ils seront détruits deux ans après la fin de la recherche, soit en octobre 2022;
- la recherche fera l'objet de publications dans des revues scientifiques, et aucun participant ne pourra y être identifié ;
- un court résumé des résultats de la recherche sera expédié aux participants qui en feront la demande en indiquant l'adresse où ils aimeraient recevoir le document, juste après l'espace prévu pour leur signature.

Dans un souci de protection, le ministère de la Santé et des Services sociaux demande à tous les comités d'éthique désignés d'exiger que le chercheur conserve, pendant au moins un an après la fin du projet, la liste des participants de la recherche ainsi que leurs coordonnées, de manière à ce que, en cas de nécessité, ceux-ci puissent être rejoints rapidement »;

Compensation

Votre participation à cette étude est bénévole, les avantages que vous en retirerez ne seront pas financiers et vous ont été exposés plus haut.

Remerciements

Votre collaboration est précieuse pour nous permettre de réaliser cette étude et nous vous remercions d'y participer.

Signatures

Je soussigné(e) _____ consens librement à participer à la recherche intitulée : « Prévention LCA Ski ». J'ai pris connaissance du formulaire et j'ai compris le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients du projet de recherche. Je suis satisfait(e) des explications, précisions et réponses que le chercheur m'a fournies, le cas échéant, quant à ma participation à ce projet.

Signature du participant, de la participante

Date

Un court résumé des résultats de la recherche sera expédié aux participants qui en feront la demande en indiquant l'adresse où ils aimeraient recevoir le document. **Les résultats ne seront pas disponibles avant le 01/10/2021. Si cette adresse**

changeait d'ici cette date, vous êtes invité(e) à informer le chercheur de la nouvelle adresse où vous souhaitez recevoir ce document.

L'adresse électronique à laquelle je souhaite recevoir un court résumé des résultats de la recherche est la suivante :

J'ai expliqué le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients du projet de recherche au participant. J'ai répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées et j'ai vérifié la compréhension du participant.

Signature du chercheur

Date

Renseignements supplémentaires

Si vous avez des questions sur la recherche, sur les implications de votre participation ou si vous souhaitez vous retirer de la recherche, veuillez communiquer avec Lucas Lippolis, au numéro de téléphone suivant : 06.32.21.83.46, ou à l'adresse courriel suivante : lucas.lippolis@univ-lyon1.fr.

Plaintes ou critiques

Toute plainte ou critique sur ce projet de recherche pourra être adressée au département de masso-kinésithérapie de l'institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation de l'Université Claude Bernard Lyon 1 :

19 Rue Nungesser et Coli

69008 Lyon

Renseignements - Secrétariat : _____

Courriel : _____

Copie du participant

