



HAL
open science

Récupération de la force musculaire en isocinétisme après révision de ligamentoplastie par prélèvement au tendon quadricipital comparé à la technique au tendon patellaire

Andy Lecler

► **To cite this version:**

Andy Lecler. Récupération de la force musculaire en isocinétisme après révision de ligamentoplastie par prélèvement au tendon quadricipital comparé à la technique au tendon patellaire. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-04378836

HAL Id: dumas-04378836

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04378836>

Submitted on 8 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IMPORTANT : OBLIGATIONS DE LA PERSONNE CONSULTANT CE DOCUMENT

Conformément au *Code de la propriété intellectuelle*, nous rappelons que le document est destiné à un **usage strictement personnel**. Les "analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information" sont autorisées sous réserve de mentionner les noms de l'auteur et de la source (article L. 122-4 du *Code de la propriété intellectuelle*). Toute autre représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit, est illicite.

De ce fait, nous vous rappelons notamment que, **sauf accord explicite** de l'auteur de la thèse ou du mémoire, **vous n'êtes pas autorisé** à rediffuser ce document sous quelque forme que ce soit (impression papier, transfert par voie électronique, ou autre). Tout contrevenant s'expose aux peines prévues par la loi.

NANTES UNIVERSITÉ

FACULTÉ DE MÉDECINE

Année : 2023

N°

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

MÉDECINE PHYSIQUE ET DE RÉADAPTATION

par

Andy LECLER

Né le 17/06/1996 à Saint-Lô (50)

Présentée et soutenue publiquement le 27 septembre 2023

**Récupération de la force musculaire en isocinétisme après révision de
ligamentoplastie par prélèvement au tendon quadricipital comparé à la technique
au tendon patellaire**

Président : Monsieur le Professeur Raphaël GROSS

Directeur de thèse : Dr Marc DAUTY

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse pour sa confiance, son expérience et son encadrement. Marc, tu es un mentor tant en rééducation qu'en médecine du sport.

Merci aux Pr Gross, Pr Nich, Dr Menu et Dr Rousseau d'avoir accepté d'être membres du jury et d'apporter votre expertise sur cette thèse.

Merci à Romain Rousseau de m'avoir confié tes patients en toute confiance et de m'avoir fait l'honneur de ta proposition d'intégrer mon jury de thèse.

Merci à Alban pour ton aide précieuse sur les statistiques et ta patience.

Merci à Pierre pour ton aide à l'inclusion de patients supplémentaires et tes conseils avec toujours une touche d'humour.

Merci à mes deux jeunes chefs Pauline et Jérôme, pour votre compréhension et votre soutien durant les dernières étapes de rédaction de cette thèse.

Merci à Raphaël Gross de m'avoir permis de travailler librement sur un sujet qui intéresse davantage ma pratique future.

Merci au Pr Perrouin-Verbe d'avoir soutenu mes projets au cours de l'internat.

Merci aux médecins qui m'ont encadré depuis le début et qui m'ont donné envie de faire cette belle spécialité.

Merci au chirurgien nantais qui m'a ouvert les portes de son bloc opératoire pour assister à ses chirurgies et comprendre les techniques opératoires décrites dans ce travail.

Merci aux personnels soignants du service de MPR Locomoteur pour leur bienveillance au quotidien.

Merci à mes colocs de Saint-Jacques et la coloc d'HD pour les superbes moments passés bien malgré le confinement.

Merci à mes amis d'internat, Manu, Matt, Jean, Victoire, Solène et tous les autres, à nos soirées et week-ends déjantés.

Merci à mes co-internes de MPR pour l'entraide et le soutien au quotidien. Merci à mes co-internes d'interCHU pour votre estime et ce super semestre.

Merci à mes amis de Normandie, Alexis, Augustin, Julien, Justine, Laurent, Paul, Quentin, trop souvent sacrifiés au profit des heures passées à travailler.

Merci à Coline, de partager ma vie, depuis maintenant 2 ans et demi. En plus d'être une brillante psychologue, tu es la partenaire idéale qui sait me rassurer et m'épauler chaque fois que cela est nécessaire. Tu es une source d'inspiration pour devenir chaque jour quelqu'un de meilleur. Je te dois beaucoup, pour ta patience, ton soutien quotidien et l'amour que tu me portes. À tous nos projets futurs.

J'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille sans qui je ne serai pas arrivé jusqu'ici. Papa, maman, pour m'avoir aidé, soutenu et encouragé durant ces 10 années d'étude, je vous dois tout. Votre fierté à mon égard a été ma plus grande motivation pour travailler toujours plus. Je partage le mérite de ce diplôme avec vous, cette réussite est aussi la vôtre.

Merci à mon frère, Steven, trop souvent délaissé pour mes études. Tu es à l'origine de ma soif de connaissance en m'ayant fait sauter une classe, je ne l'oublie pas. J'espère qu'on saura rattraper le temps perdu.

Enfin, une pensée pour ma petite mamie, partie au moment où j'écris ces lignes. Ton admiration et ton affection envers moi malgré la maladie ont été une source importante d'énergie et de réconfort.

Abréviations

LCA : ligament croisé antérieur

ACLR : Anterior cruciate ligament reconstruction = reconstruction du ligament croisé antérieur

IMC : indice de masse corporel

IJ : ischio-jambiers

TP : tendon patellaire

TQ : tendon quadricipital

DIDT : droit interne – demi tendineux

LSI : limb symmetry index = indice de symétrie au membre inférieur

IKDC : International Knee Documentation Committee = score d'évaluation fonctionnelle du genou

Table des matières

I.	Introduction	7
1)	Rupture du ligament croisé antérieur	7
a.	Épidémiologie	7
b.	Facteurs de risque	7
c.	Complications post-rupture	8
2)	Reconstruction par ligamentoplastie	9
a.	Indication opératoire	9
b.	Complications après ligamentoplastie	11
3)	Re-rupture du ligament croisé antérieur	12
a.	Épidémiologie des re-ruptures	12
b.	Causes d'échec et de rupture de plastie	13
4)	Révision des ligamentoplasties	14
a.	Problématiques	14
b.	Traitement de référence	14
5)	Évaluation isocinétique	15
6)	Intérêt du tendon quadricipital	16
II.	Matériels et Méthode	18
1)	Population étudiée et critères d'inclusion	18
2)	Description des techniques chirurgicales	19
a.	Technique au tendon quadricipital	19
b.	Technique au tendon patellaire	22
3)	Protocole de rééducation et de réhabilitation	23
4)	Évaluation isocinétique	26
a.	Principes isocinétiques	26
b.	Protocole d'évaluation isocinétique et paramètres étudiés	27
5)	Évaluation fonctionnelle	29
6)	Analyse statistique	31
III.	Résultats	31
1)	Participants	31
2)	Comparaison entre les deux groupes	32
3)	Résultats fonctionnels	36
4)	Résultats isocinétiques	37
IV.	Discussion	43
1)	Récupération de force musculaire isocinétique	43
2)	Résultats fonctionnels	47
3)	Complications précoces post-opératoires	48
4)	Limites de l'étude	51
5)	Forces de l'étude	52
V.	Conclusion	53
VI.	Références bibliographiques	54

I. Introduction

1) Rupture du ligament croisé antérieur

a. Épidémiologie

La lésion du ligament croisé antérieur (LCA) est une pathologie fréquente chez le jeune sportif avec une incidence lésionnelle en augmentation constante.

Le nombre exact de blessures du LCA est inconnu, mais il a été estimé à environ 100 000 cas en France (1) et entre 200.000 à 300.000 ruptures chaque année aux États-Unis soit une incidence lésionnelle à 68/100.000 personnes/année (2).

L'incidence des reconstructions chirurgicales du ligament croisé antérieur représente 43,5/100.000 personnes-années, soit 130 000 reconstructions chaque année aux États-Unis (3). En France, environ 40 000 reconstructions du ligament croisé antérieur (ACLR) ont été réalisées en 2012 (4). Le nombre de reconstructions du LCA est en nette augmentation, avec par exemple aux États-Unis une augmentation de 50% entre 1994 et 2006, l'augmentation concernant surtout les femmes, et les moins de 20 ans (3). Une étude plus récente retrouvait une augmentation de 22% du taux de reconstruction en 10 ans surtout chez les adolescents de moins de 18 ans (5).

b. Facteurs de risque

Cette lésion concerne essentiellement le sujet jeune et sportif avec un pic d'incidence qui se situe chez l'homme entre 19 et 25 ans et entre 14 et 18 ans chez la femme (4).

Dans le cadre de la pratique sportive, le nombre absolu de ruptures du LCA est plus important chez les hommes, mais rapporté aux heures de pratique sportive, le risque de rupture est plus important chez les femmes (RR 1,57) (6). A niveau sportif égal, les femmes sont deux fois plus susceptibles de présenter une première blessure au LCA que les hommes (7).

Les ruptures surviennent le plus souvent sans contact (70% des cas), avec un risque plus élevé chez les femmes (2 à 8 fois) que chez les hommes (8).

Plusieurs facteurs de risque ont été associés aux lésions du LCA. Ces facteurs peuvent être classés comme intrinsèques ou extrinsèques, ainsi que modifiables ou non modifiables.

Les facteurs intrinsèques modifiables comprennent l'indice de masse corporelle (IMC), le statut hormonal au moment de la pratique sportive, les déficits neuromusculaires et les anomalies biomécaniques (9). Les facteurs intrinsèques non modifiables comprennent le sexe féminin, une prédisposition génétique (10), les variations anatomiques. Parmi ces derniers, nous pouvons citer : l'étroitesse de l'échancrure fémorale, la pente tibiale importante, la laxité antéro-postérieure, la présence d'un recurvatum ou d'un valgus de genou, la faiblesse relative des ischios-jambiers (9, 11, 12).

D'autre part, les facteurs extrinsèques, qui sont modifiables, comprennent l'environnement de jeu, le revêtement du terrain, les conditions météorologiques, l'équipement, le niveau de compétition et le type de sport (12, 13).

Modifiables	Non modifiables
<i>Intrinsèques</i>	<i>Intrinsèques</i>
IMC	Sexe féminin
Déficits neuromusculaires et anomalies biomécaniques	Taille de l'échancrure fémorale
Statut hormonal	Diamètre du LCA
Fatigue	Pente tibiale postérieure
<i>Extrinsèques</i>	Laxité ligamentaire
Équipement, chaussures	Trouble d'alignement des membres inférieurs
Surface de jeu, revêtement	Antécédent de lésion du LCA
Conditions météorologiques	Prédisposition génétique
Niveau de compétition	
Type de sport	

Tableau 1 : Facteurs de risque de rupture du LCA

Les sports pivots et pivot-contacts sont les plus à risque avec en particulier le football, le football américain, le basketball, le handball, le rugby et ce, d'autant plus à un niveau de compétition élevé particulièrement. Le ski est plus à risque en revanche chez les débutants (11).

c. Complications post-rupture

Les lésions du LCA peuvent causer des douleurs de genou, une limitation de l'amplitude des mouvements, une faiblesse musculaire, mais surtout une instabilité du genou, avec pour conséquences une réduction des niveaux d'activité physique en plus d'un coût économique non négligeable (14).

À long terme, la rupture du ligament croisé antérieur entraîne un sur-risque de développer une arthrose post-traumatique. Environ 50% des patients développeront une gonarthrose dans les 10 à 20 ans après la rupture (10 à 90% selon les études) (14, 15).

Les mécanismes qui contribuent au développement de l'arthrose post-traumatique après une lésion du LCA ne sont pas complètement compris, mais les hypothèses actuellement retenues concernent les modifications des processus biochimiques, les altérations biomécaniques et des déficits de la fonction neuromusculaire (14). Le principal facteur arthrogène après rupture isolée du LCA serait l'augmentation du déplacement tibial antérieur avec apparition d'une lésion méniscale particulièrement interne puis altération du cartilage et de l'os sous-chondral (16).

Des facteurs risque de d'arthrose post-traumatique ont été identifiés après une lésion du LCA, tels que l'âge, l'indice de masse corporelle élevé (IMC), le tabagisme, le type de chirurgie, l'intervalle de temps avec la blessure (17).

De plus, toutes blessures de l'articulation du genou, y compris la rupture du LCA, modifie les niveaux de liquide synovial des cytokines inflammatoires (TNF α , IL-1 β et l'IL-6), qui peuvent contribuer à la dégénérescence articulaire (18). Ainsi, les dommages du cartilage articulaire au moment du traumatisme peuvent conduire directement à l'arthrose. De même, les épisodes multiples d'instabilité après une lésion du LCA peuvent augmenter les dommages au cartilage et entraîner la gonarthrose (19).

Les lésions chondrales produisent également une cascade biochimique, avec des concentrations accrues de cytokines chondrodestructives et une concentration réduite de cytokines chondroprotectrices par rapport au genou controlatéral (20).

L'état du ménisque a été identifié comme le facteur le plus important pour développer une arthrose post-traumatique après une lésion du LCA (21),(22). Or, les lésions méniscales et chondrales peuvent être présentes avant, pendant et se développer après la blessure (16).

2) Reconstruction par ligamentoplastie

a. Indication opératoire

En cas de rupture du ligament croisé antérieur, une reconstruction par ligamentoplastie est proposée dans environ 65-70% des cas selon les études (2), (3). Les principaux objectifs de la reconstruction du LCA sont de rétablir la stabilité du genou, ce qui permet au patient de reprendre

ses activités de pré-blessure (19). Elle permet également de réduire le risque de lésion méniscale ultérieure (23, 24).

L'un des objectifs à long terme souvent avancé serait de réduire le risque de développer une gonarthrose et d'améliorer la santé des articulations à long terme. Pourtant, aucune étude n'a démontré que la chirurgie de reconstruction du LCA prévenait ou retardait le développement de l'arthrose post-traumatique (14, 19, 25).

En effet, la chirurgie agit comme un nouveau traumatisme sur le genou responsable d'une inflammation prolongée avec une hémarthrose postopératoire. Les cytokines impliquées dans cette inflammation ont été associées à la destruction du cartilage et ont été identifiées comme inhibiteurs de la chondrogenèse (19).

Les dommages aux ménisques sont associés dans environ 25 % à 45 % des ruptures du LCA (15, 16). Les lésions méniscales et les lésions du LCA augmentent le risque d'arthrose du genou, probablement dû à la diminution de l'atténuation de l'énergie intra-articulaire et de l'altération de l'arthrocinématique, comme c'est le cas après lésion isolée d'un ménisque (26).

Le choix d'une reconstruction ligamentaire doit être mûrement réfléchi avec chaque patient, au cas par cas, selon ses objectifs sportifs, ses exigences professionnelles, ses symptômes notamment la stabilité du genou et les lésions associées.

Ainsi, chez les patients symptomatiques ayant des exigences fonctionnelles modérées à élevées, la reconstruction du LCA (ACLR) est souvent recommandée pour améliorer la réadaptation, faciliter le retour précoce à la pleine fonction sportive et réduire le risque de complications à long terme, même si rien n'a pour l'instant été prouvé pour la survenue de la gonarthrose (27).

Si 81% des patients sportifs reprennent une activité sportive, seulement 65% d'entre eux retournent à leur niveau antérieur et 55% reprennent un niveau sportif de compétition (28).

Les greffes les plus couramment utilisées pour l'ACLR comprennent les autogreffes de tendon ischio-jambier (IJ), les greffes de tendon os-patellaire (TP) et de tendon quadriceps (TQ), les allogreffes et les greffes synthétiques. En Europe, l'utilisation d'autogreffe IJ prédomine (47-93 %), suivie des autogreffes TP (11-52 %), contrastant avec les États-Unis, où les allogreffes sont utilisées dans 40 % des ACLR, suivies des autogreffes IJ à 33 % (dont la technique la plus courante est le DIDT

(droit interne – demi tendineux)).

Cependant, il n'y a pas de consensus pour le meilleur choix de la greffe à utiliser afin de reconstruire le LCA (28).

b. *Complications après ligamentoplastie*

De nombreux facteurs affectent un bon résultat après l'ACLR tels que la technique chirurgicale, le choix du greffon, la fixation du greffon, la rééducation et la réadaptation postopératoire ainsi que l'éducation du patient. Les résultats cliniques et fonctionnels sont considérés comme bons à excellents dans 75 à 97% des cas, en termes de stabilité, de morbidité et de reprise de sport (29).

Les complications précoces de la reconstruction du LCA sont rares (1 à 15%) après exclusion des douleurs liées à la morbidité du site donneur. Elles sont représentées par l'infection (0,8%), l'hémarthrose, les complications thrombo-emboliques (thrombose veineuse profonde 0,33% et embolie pulmonaire 0,21%) et la lésion nerveuse (nerf saphène, principalement branche infra-patellaire, 15%) (30, 31).

Pendant la collecte du greffon, différentes complications possibles peuvent survenir, telles qu'une fracture rotulienne (greffon TP, 0,2 et 2,3 %), ou un risque de couper les tendons à une mauvaise longueur (greffe DIDT) (31). D'autres complications rares peuvent survenir comme des complications liées au dispositif de fixation (rupture, migration) ou encore des fractures tibiale ou fémorale dues à une faiblesse osseuse liée aux tunnels osseux (31).

Seize pour cent des patients présentent des douleurs antérieures, dont 2,7 % sont toujours présentes à 2 ans ; 9 % des raideurs en extension ; 7,2 % des lésions méniscales secondaires ; 10 % des douleurs sur matériel après ligamentoplastie au DIDT et TP (32). Selon le choix du greffon, l'incidence de douleur antérieure au genou est différente. Après greffe de tendon patellaire, jusqu'à 30% de douleurs antérieures sont rapportées, tandis que les ruptures secondaires de plasties et les douleurs sur matériel sont plus fréquentes après greffes aux ischio-jambiers (27, 32).

Des douleurs postéro-médiales ont été décrites chez 12,4% des patients à 4 mois d'une greffe aux ischio-jambiers, persistantes depuis la chirurgie ou survenant dans un délai moyen de 3 semaines post-opératoires lors d'un étirement brutal des ischio-jambiers (33).

Une raideur du genou post-opératoire peut survenir, pouvant être causée par la formation d'un nodule mineur de tissu cicatriciel, qui peut se loger dans l'encoche intercondylienne ou par un débridement insuffisant du LCA natif et empêcher une extension complète, dénommé « cyclope syndrome » (34). D'autres causes de raideur du genou comprennent des problèmes mécaniques tels que l'empiètement du greffon, un placement incorrect du tunnel, un échec de la greffe.

L'arthrofibrose regroupe de façon plus globale les complications d'enraidissement post-opératoire du genou, avec une incidence rapportée de 4 % à 35 % après l'ACLR (35). Elle s'explique par un envahissement articulaire des tissus fibreux secondaire à une prolifération fibroblastique et endothéliale dépendant d'une surexpression de cytokines, responsable d'une ankylose articulaire. La classification de référence de Shelbourne et al définit 4 types d'arthrofibrose (36, 37). Le type 1 correspond à une diminution isolée de l'extension du genou inférieure à 10° (et pourrait correspondre à une rééducation insuffisante). Le type 2 se caractérise par une diminution isolée de l'extension du genou supérieure à 10°, généralement secondaire à un Cyclope syndrome (38). Les types 3 et 4 présentent une diminution de l'extension et de la flexion associée à une diminution ou une absence de mobilité rotulienne, décrite comme « syndrome de contracture infrapatellaire » (39) ou encore « Syndrome douloureux régional complexe. Un déficit de force, difficile à améliorer par la rééducation, a également été décrit en cas d'arthrofibrose (37). En cas de raideur persistante où le traitement conservateur a échoué, la prise en charge recommandée implique une combinaison de mobilisation sous anesthésie générale et de lyse arthroscopique des adhérences (40).

3) Re-rupture du ligament croisé antérieur

a. Épidémiologie des re-ruptures

Le risque de nouvelle rupture est variable selon les études, jusqu'à 30% dans les 2 ans suivant la reconstruction (41, 42). Une méta-analyse de 2016 à propos de 19 études, a rapporté un taux de rupture des ligamentoplasties de 7 % et de rupture du LCA controlatéral à la plastie de 8% sur un suivi de 2 à 5 ans. Les facteurs de risque étaient l'âge jeune au moment de la ligamentoplastie et la reprise d'un sport à risque. En effet, les patients plus jeunes (<25 ans) et ceux qui reviennent à un niveau d'activité élevé, sont exposés à un risque accru avec une chance sur quatre de subir une autre rupture du LCA (23%) et une chance sur dix de rupture de plastie (10%) (43). La reprise d'un sport pivot contact augmente le risque de nouvelle rupture (42).

Des ruptures de greffe surviennent en moyenne 1,8 an après la chirurgie (42), tandis que les lésions controlatérales surviennent en moyenne 3,7 ans après la chirurgie (42).

Des antécédents familiaux de rupture du LCA doublent les risques de re-rupture et de rupture controlatérale à la plastie (44).

Le taux de re-rupture dépend également du type de chirurgie. En effet, elles sont plus fréquentes lors d'une greffe par DIDT (12,7%) que lors d'une greffe par TP (6,1%) (45). En revanche, la rupture controlatérale est plus fréquente après greffe par TP (26 %) (46) soit un risque relatif deux fois supérieur (47), sans cause expliquée.

Les ruptures sont plus fréquentes sur le genou controlatéral (44), chez les femmes (48). En revanche, le sexe n'est pas associé à un facteur de risque de rupture de plastie (45, 48, 49, 50).

Les joueurs qui reprennent la compétition de façon précoce, en particulier avant le 7e mois, ont un risque plus élevé de ruptures itératives (15,3 contre 5,2%) (45, 51).

b. Causes d'échec et de rupture de la plastie

Les causes de re-rupture sont le plus souvent multifactorielles (37%), avec une participation d'un défaut de technique chirurgicale (malposition des tunnels osseux) ou selon un mécanisme biologique par défaut d'incorporation osseuse de la greffe ligamentaire possible associé à un traumatisme du genou le plus souvent indirect sur un simple changement d'appui (52). Le taux d'échec des plasties est estimé entre 4 et 11% à cinq ans (43). L'échec du greffon se produit lorsque le ligament reconstruit ne rétablit pas la stabilité du genou avec des activités pivotantes, responsable d'une laxité récurrente symptomatique.

Les défaillances précoces sont généralement associées à une erreur technique, une défaillance biologique de l'incorporation de la greffe, des lésions ligamentaires associées occultes ou un désalignement en varus des membres inférieurs (29). L'échec tardif se produit souvent avec un traumatisme sans contact, qui est la source la plus courante de re-rupture (29).

Un traumatisme récurrent est noté chez 46 à 56% des patients. Une erreur technique chirurgicale a été citée chez 44 à 51% des patients (53). Une étude française retrouvait pour principale cause de re-rupture, une malposition du tunnel fémoral dans 36 % des cas (54) tandis qu'un échec biologique de la greffe intervenait dans 2,9% des cas. Dans la cohorte MARS, la cause de re-rupture, telle que jugée par le chirurgien réviseur, était un traumatisme isolé pour 35 %, une erreur technique isolée pour 21 % et un échec de la greffe biologique isolée pour 8 % des patients, les causes restantes

étant multifactorielles (55).

4) Révision des ligamentoplasties

a. Problématiques

Le taux de révision des ligamentoplasties premières à 5 ans est estimé à 4,1% (1,5 à 10%) (56), en moyenne 4 ans et demi après la première chirurgie (57). Ces révisions sont souvent décrites comme étant plus difficiles à réaliser techniquement, avec un certain nombre d'interrogations quant au choix du type de greffon à utiliser.

De plus, elles sont associées à des résultats cliniques inférieurs par rapport aux reconstructions primaires en termes de stabilité du genou et de retour au sport (29). En effet, des échecs cliniques ont été observés chez 35% des patients, avec un niveau de retour à un niveau d'activité pré-blessure chez 54% des patients (58).

Lorsque le transplant est rompu, l'indication d'une reprise doit être mûrement réfléchi. La connaissance de l'histoire de la nouvelle instabilité du genou et sa confirmation clinique sont essentielles. Les examens radiologiques à la recherche d'une anomalie de position des tunnels et de l'arthrose débutante, complétés par une imagerie par résonance magnétique nucléaire afin de vérifier l'état des ménisques sont indispensables pour planifier la nouvelle reconstruction du ligament croisé antérieur.

Différents transplants peuvent alors être prélevés parmi lesquelles le transplant aux ischio-jambiers quand le tendon patellaire a déjà été utilisé ou le plus fréquemment, l'utilisation d'un greffon au tendon patellaire lorsque la greffe primaire était aux ischios-jambiers.

b. Traitement de référence

Le choix du greffon pour la révision ACLR est très variable selon les pays et les préférences des chirurgiens. Cependant, la révision par tendon patellaire d'une ligamentoplastie première par DIDT prédomine actuellement comme le gold-standard.

En effet, dans la cohorte française de la SFA, l'autogreffe TP est la plus utilisée en révision (55,9 %), suivie de l'autogreffe d'ischio-jambiers (38,6 %) (54). Aux Etats-Unis, les allogreffes et les autogreffes sont utilisées avec une fréquence similaire (50%), les autogreffes TP (26,2 %) légèrement plus fréquentes que les autogreffes d'ischio-jambiers (20,1 %) (53).

Les autogreffes de quadriceps (TQ) sont utilisées dans 1 à 2 % des reprises, que ce soit en France, aux Etats-Unis ou dans les pays nordiques (53).

Les résultats déclarés par les patients après révision ont été jugés inférieurs à ceux de la reconstruction primaire du LCA en terme fonctionnel, toutes techniques confondues (57).

5) Évaluation isocinétique

Pour évaluer l'évolution après reconstruction du ligament croisé antérieur et décider de la reprise des activités sportives, la récupération de la force musculaire de la cuisse (quadriceps et ischio-jambiers) est habituellement mesurée à l'aide d'un dynamomètre isocinétique dans le but d'obtenir une symétrie de force du couple fléchisseurs et extenseurs entre le genou opéré et le genou non opéré (59). Cette récupération dépend entre autres du transplant utilisé. Un déficit des extenseurs du genou est attendu en cas de prélèvement du tendon patellaire et un déficit des fléchisseurs en cas de prélèvement des ischio-jambiers (60).

La récupération d'une symétrie de force de 85 à 90% est jugée nécessaire pour reprendre le sport antérieur avec comme espoir d'éviter la re-rupture même si cela n'a pas été prouvé (61, 62). Cette récupération de la force du genou peut nécessiter jusqu'à 24 mois post-opératoires (63). Mais, un déficit isocinétique de 10 % peut être mesuré dès 4 mois après une ligamentoplastie posant alors la question des reprises du sport très précoces avec la peur de la re-rupture.

Dans les faits, très peu d'études portent sur la récupération musculaire isocinétique après révisions de ligamentoplasties car peu de patients ont accès à ce type d'évaluation. Pourtant, elle devrait être systématique afin de mesurer objectivement la levée post-opératoire de l'inhibition musculaire du genou mais surtout, de mesurer les conséquences de la morbidité du(des) site(s) donneur(s).

Jusqu'à présent, il a été montré que quelle que soit la technique de reprise des ligamentoplasties du genou aux ischio-jambiers ou au tendon patellaire, le déficit de force des extenseurs ou des fléchisseurs du genou est comparable ou inférieur à celui observé après ligamentoplastie de première intention (64). Mais aucune technique n'a été définie meilleure qu'une autre vis à vis de la récupération de force musculaire post-opératoire après révisions de ligamentoplastie.

Dauty et al ont montré lors d'une analyse en sous-groupe qu'en cas de révisions de ligamentoplasties premières aux ischio-jambiers, il semble préférable d'utiliser comme greffon les ischio-jambiers controlatéraux plutôt que le tendon patellaire ipsilatéral pour une meilleure symétrie de force du fait de la morbidité du site donneur (65). Cependant, cette étude rétrospective ne s'est pas intéressée à la technique du tendon quadricipital, qui a regagné l'attention en tant qu'autogreffe alternative pour la reconstruction du LCA.

6) Intérêt du tendon quadricipital

Rapportée pour la première fois par Marshall et al, en 1979 (66), le tendon quadricipital était peu utilisé en raison de résultats cliniques inférieurs et de préoccupations concernant la faiblesse musculaire du quadriceps postopératoire (67). Blauth et Stäubli ont contribué à sa réintroduction en rapportant que le tendon du quadriceps présentait une quantité volumétrique et des propriétés mécaniques suffisantes pour constituer un greffon valable avec morbidité du site donneur mineure (68, 69).

Anatomiquement, le tendon du quadriceps est plus long et plus épais que le tendon rotulien et s'attache plus largement à la rotule avec une taille et une résistance suffisantes, d'après une évaluation morphométrique et biomécanique de Harris et al (70). Cette étude cadavérique a aussi montré une charge ultime jusqu'à rupture (2 186 contre 1 581 N) et une rigidité plus élevées par rapport au tendon patellaire (70).

De nouvelles techniques permettent actuellement de prélever un greffon robuste avec peu de dissection des tissus mous avec donc l'espoir d'une morbidité au site donneur limitée. L'autogreffe par tendon quadriceps est responsable significativement de moins de douleur au niveau du site de prélèvement par rapport à l'autogreffe tendon patellaire et de meilleurs scores fonctionnels par rapport à l'autogreffe ischio-jambiers d'après la méta-analyse de vingt-sept études cliniques incluant 2856 patients de Mouarbes et al (71). Slone et al. faisaient les mêmes conclusions favorables, selon la stabilité du genou (Lachman, pivot-shift et test de laxité instrumentée), les résultats fonctionnels (International Knee Documentation Committee et scores de Lysholm), la satisfaction globale du patient, l'amplitude des mouvements et les complications après comparaison entre les greffons au tendon quadricipital et les autres options de greffe (72). Il a été également rapporté moins de morbidité du site donneur et de douleur antérieur du genou.

Cavaignac et al. ont aussi retrouvé de meilleurs résultats fonctionnels (Lysholm, KOOS Symptoms, KOOS sport) et de stabilité (pivot-shift et Lachman), après comparaison avec la technique aux ischio-jambiers (73). Un retour plus rapide aux activités sportives après une rééducation « intensive » est espéré selon l'étude de Chen et al (74).

La technique par TQ a donc montré qu'elle était une option sûre, reproductible avec des résultats comparables aux autres techniques habituelles en tant que ligamentoplastie première.

Sur le plan isocinétique, aucune différence de récupération de force musculaire évaluée en isocinétisme à 60° et 180°/s n'a été montrée entre le groupe TQ et le groupe TP selon l'étude cas-témoin de Han et al. en 2008 (72 patients suivi de 2 ans) (75). Cela a permis d'affirmer que la faiblesse musculaire du quadriceps post-opératoire n'était pas un problème si la rééducation était adéquate. Pigozzi, après une étude prospective randomisée en 2004 a montré que le déficit de force mesuré chez les sujets opérés avec un TQ était statistiquement plus faible par rapport à celui mesuré dans le groupe TP, à propos de 46 patients suivis durant 6 mois (76).

Cependant, à notre connaissance, aucune étude comparative n'a porté sur l'évaluation isocinétique du déficit de force musculaire après révision par greffon de tendon quadricipital des ligamentoplasties premières aux ischio-jambiers.

L'objectif de mon étude a donc été de comparer sur 1 an la technique au tendon quadricipital avec la technique au tendon patellaire en tant que révision d'une ligamentoplastie première d'ischio-jambiers selon les paramètres de récupération de la force musculaire isocinétique.

Les objectifs secondaires ont été de comparer les deux groupes selon le score fonctionnel de Lysholm, l'échelle d'activité de Tegner et le Hop test (test de saut monopodal).

II. Méthode

1) Population et critères d'inclusion

Tous les patients opérés d'une révision de ligamentoplastie du genou dans les 10 dernières années par un chirurgien orthopédique des hôpitaux de Nantes et suivis pour évaluation de la force musculaire isocinétique, dans le service de Médecine Physique et de Réadaptation Locomotrice du CHU de Nantes, ont été étudiés pour inclusion dans l'étude. Le screening des patients a été élargi à ceux opérés par un chirurgien parisien de la clinique Nollet, Paris XVII expérimenté en révisions de ligamentoplastie afin d'augmenter la population de cette étude bicentrique.

Les patients de moins de 50 ans ont été inclus selon le type de révision de ligamentoplastie au tendon quadricipital homolatéral ou au tendon patellaire homolatéral. Les associations avec une plastie de renfort externe ou/et un traitement de lésions méniscales étaient possibles. La ligamentoplastie première devait avoir été réalisée à partir d'un prélèvement aux ischio-jambiers (DIDT).

Les patients qui ont bénéficié de révision de ligamentoplastie à partir de greffons différents, comme aux ischio-jambiers contralatéraux, au fascia lata, ou encore à partir d'allogreffes étaient exclus. De même, les plasties des ligaments collatéraux, les ostéotomies osseuses et les greffes de cartilage associées ont été exclues.

Un appariement a ensuite été réalisé selon le sexe, l'âge (\pm 3 ans) et le poids (\pm 6 kg) afin de comparer chaque patient porteur d'une reprise de ligamentoplastie par TQ avec un patient porteur d'une reprise de ligamentoplastie par TP. Le délai post-opératoire de réalisation du test isocinétique a aussi fait l'objet d'un appariement selon 3 délais : 4-5 mois (test 1), 6-9 mois (test 2) et 12 mois post-opératoires (test 3). Les différentes pratiques sportives ont été répertoriées même si ce paramètre n'a pu participer à l'appariement des patients.

Les données ont été analysées de façon rétrospective à partir des dossiers des patients dont les informations avaient été recueillies de manière prospective au cours du suivi.

Tous les patients ont donné leur consentement oral afin que leurs données médicales puissent être utilisées rétrospectivement de façon anonyme pour cette étude. L'étude a été pilotée en respectant les critères de la déclaration d'Helsinki (77).

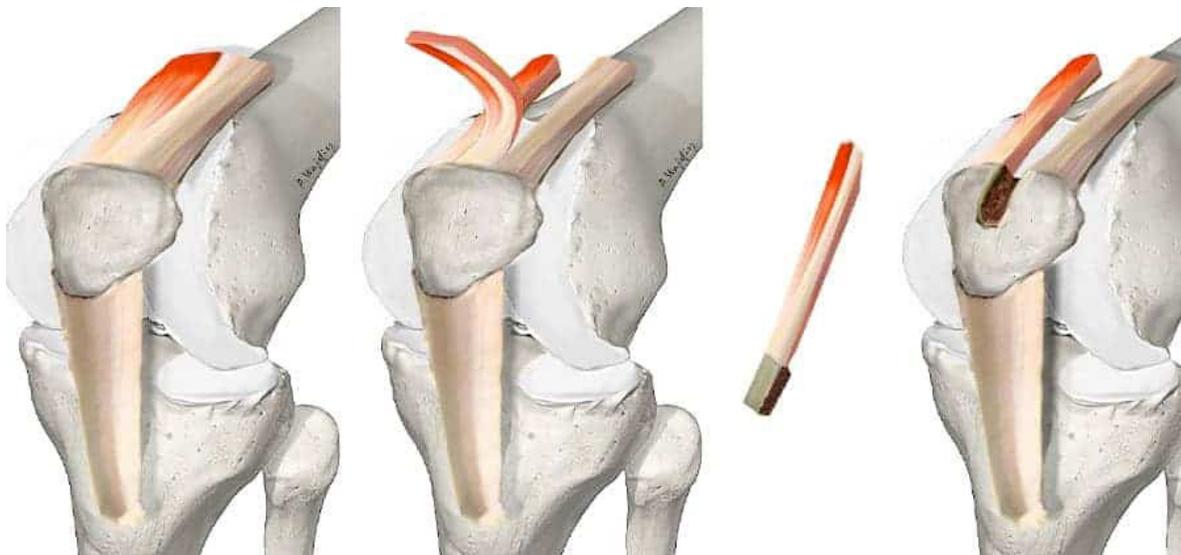
2) Description des techniques chirurgicales

a. Technique au tendon quadricipital (78)

Inspiré du compte rendu opératoire d'un chirurgien de l'étude

Premier temps opératoire : prélèvement du tiers central du tendon quadricipital.

1. Le patient a été placé en décubitus dorsal sur la table d'opération, genou à 90° de flexion maintenu par une barre et un appui latéral.
2. Une incision médiane en regard de la base de la patella a été réalisée, se prolongeant le long du tendon quadricipital. S'en est suivi du prélèvement du tiers central du tendon de 10 mm de largeur avec une baguette osseuse patellaire de 15 à 20 mm de long et 10 mm de profondeur et une longueur de tendon suffisante (6 à 8 mm minimum). Un forage de 2 trous dans la baguette osseuse a permis la préparation du greffon et passage des fils tracteurs.
3. La fermeture du tendon du quadriceps a été faite par fils résorbables sans tension excessive, suivie d'une fermeture de la peau.
4. La greffe a ensuite été amenée à la table arrière et dimensionnée à l'aide d'un dispositif de fixation en boucle réglable. Le greffon a été préparé par ficelage/saucissonnage, puis calibrage à 10 mm de diamètre et 10 cm de longueur, et conservé dans une compresse humide.



Prélèvement de la greffe au tendon quadricipital

Deuxième temps opératoire : arthroscopie du genou.

5. Réalisation d'une voie antéro-latérale optique et une voie antéro-médiale instrumentale
6. Un bilan lésionnel per-opératoire a confirmé la rupture du LCA et a vérifié l'état cartilagineux et l'état des ménisques à l'aide d'un crochet.

Selon la présence ou non d'une lésion méniscale, une régularisation à la pince basket et au shaver, ou une suture méniscale a été réalisée.

7. Un nettoyage au shaver du LCA restant a été pratiqué suivi d'un lavage articulaire abondant au shaver.
8. Tout le matériel restant de la première plastie a été retiré et les tissus mous le long du tunnel ont été débridés.

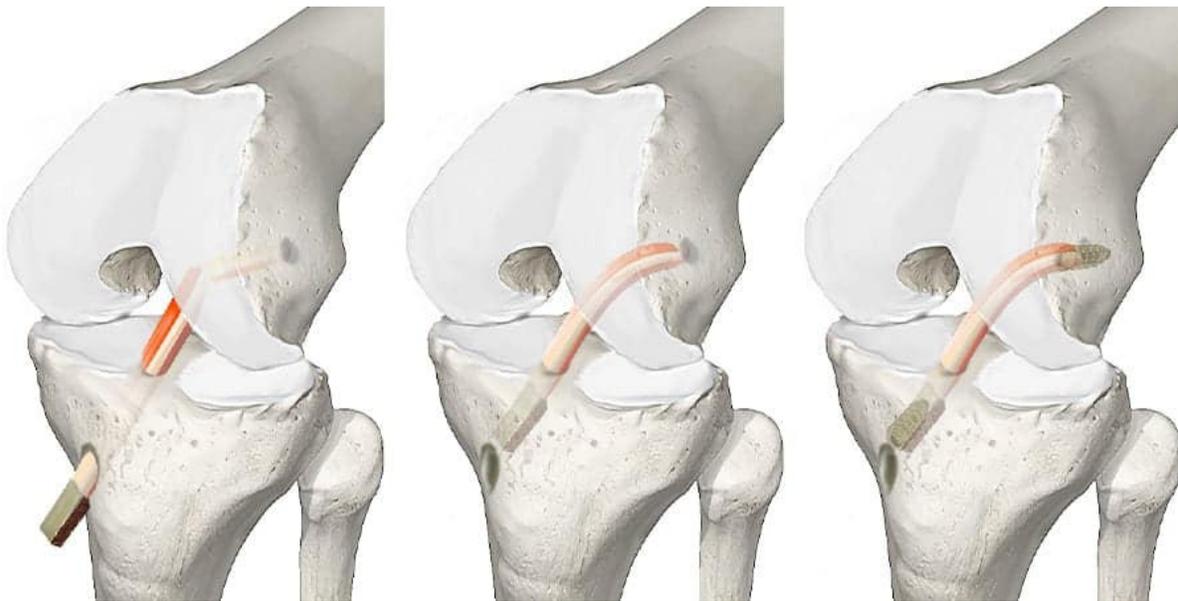


Préparation du tunnel fémoral puis tibial

Troisième temps opératoire : plastie du ligament croisé antérieur.

9. Une incision cutanée de 2 à 3 cm a ensuite été faite sur le tibia antéromédial à environ 4 à 5 cm de la ligne articulaire et de 2 à 3 cm médialement au tubercule tibial, en restant au-dessus de l'insertion des tendons de la patte d'oie. À l'aide d'un guide, le tunnel tibial a ensuite été percé de l'extérieur à un angle de 45° visant l'empreinte native du LCA égale au diamètre de la greffe, puis a été dilaté de 0,5 cm de plus pour faciliter le passage de la greffe.
10. A l'aide du viseur fémoral in-out en hyperflexion à environ 110°, une broche guide a été mise en place pour le tunnel fémoral, au niveau du point isométrique d'insertion fémorale du LCA visant l'empreinte native du ligament se projetant 1 cm en arrière du condyle fémoral latéral. Un forage du tunnel à 10 mm a été fait autour de cette broche par la voie antéro-interne de 35 mm de longueur en respectant la corticale latérale. Une autre variante consiste à réaliser la visée fémorale de dehors en dedans.
11. Le transplant a été suturé à un fil relai pour être monté du bas vers le haut avec la baguette osseuse dans le tibia puis fixé au niveau fémoral par une vis de biointerférence.

12. Le transplant a ensuite été fixé côté tibial par une vis de biointerférence après réduction du tiroir antérieur, par une force dirigée vers l'arrière placée sur le tibia proximal, genou à 30° de flexion.
13. L'absence de conflit avec l'échancrure en extension complète a été vérifiée. Sinon, l'échancrure était élargie au shaver.
14. Enfin, un testing final a été réalisé pour s'assurer que la laxité antérieure a bien été réduite et contrôlée.
15. Les différentes incisions ont été refermées plan par plan.



Montage puis fixation du transplant au niveau fémoral et tibial

Étape de retrait du matériel (29):

En général, tout le matériel lâche devrait être retiré. La détermination de la nécessité de retirer le matériel sécurisé était liée à la position des tunnels de la chirurgie précédente du LCA. Si les tunnels de la chirurgie précédente étaient considérablement mal placés et que des tunnels complètement nouveaux pouvaient être forés, le matériel précédent était laissé en place. L'extraction inutile de ces dispositifs de fixation peut entraîner des vides osseux qui peuvent être difficiles à combler et peuvent compromettre les options de fixation du LCA de révision et la résistance à la traction. Si les tunnels n'étaient que partiellement mal positionnés ou dans la bonne position, les dispositifs de fixation devaient être retirés. Souvent, les vis bioabsorbables peuvent être sur-percées, mais les vis non bioabsorbables doivent souvent être retirées. Dans la plupart des cas, le tunnel tibial est le tunnel le plus problématique, car ces vis interfèrent le plus souvent avec le tunnel de révision et la fixation de la greffe. Le tunnel fémoral est souvent très mal aligné dans l'orientation verticale, ce qui permet la préparation d'un tunnel entièrement nouveau dans un emplacement anatomique.

Quatrième temps opératoire : ténodèse latérale extra-articulaire (selon la technique de Lemaire) :

Régulièrement, il est proposé un renfort latéral indépendant au fascia lata, aussi appelé ténodèse extra-articulaire externe. L'objectif est de placer une retenue latérale à tissus mous à une distance du pivot central du genou, pour reconstituer le complexe antéro-latéral, jouant un rôle important dans la stabilité en rotation (79).

Ainsi, un prélèvement d'une bandelette de 10 mm de largeur du fascia lata a été prélevée puis tubulisée. Le point isométrique a été repéré à l'aide du compas puis la broche guide a été mise en place à la face latérale du condyle fémoral. Ensuite, le forage du tunnel borgne a permis le passage du transplant par un fil tracteur. Le transplant a été fixé par une vis de biointerférence sur un genou en extension et rotation neutre.

b. Technique au tendon patellaire

Pour cette technique, seul le premier temps opératoire change.

Un prélèvement du 1/3 central du tendon rotulien a été réalisé en conservant une baguette osseuse à chaque extrémité. La greffe a ensuite été préparée et calibrée afin de mesurer environ 10 cm de long et 9 à 10 mm de diamètre.

Le forage des tunnels a également été réalisé sous contrôle arthroscopique à l'aide de deux viseurs spécifiques. Enfin, la greffe a été positionnée puis fixée par des vis résorbables après réduction du tiroir antérieur.



Prélèvement de la greffe au tendon patellaire



Montage puis fixation du transplant au niveau fémoral puis tibial

3) Protocole de rééducation et de réhabilitation

Le protocole habituel de rééducation « accéléré » après ligamentoplastie décrit par Shelbourne 1992 et MacDonald 1995 a été suivi par les patients (80, 81), selon 30 à 40 séances réalisées au départ soit en centre de rééducation spécialisé ou soit directement en libéral, avec pour objectif un retour à une vie sédentaire en 1 mois.

Le protocole de rééducation a débuté dès le lendemain de la chirurgie pour drainer l'œdème, récupérer l'extension active et des amplitudes articulaires du genou récemment opéré. Afin de lutter contre le gonflement du genou, une contention de grade II a été mise en place avec une surélévation du membre inférieur opéré autant que possible. Une antalgie adaptée et un glaçage manuel pluriquotidien ont été associés, de même qu'une prise d'anti-inflammatoires durant les 3 semaines de rééducation.

La marche a été reprise le plus tôt possible avec un appui complet de façon prudente sous couvert de deux cannes anglaises. La position debout prolongée et la marche ont été limitée tant que le genou restait gonflé ou douloureux. Une attelle d'extension de genou a été utilisée uniquement en cas de sidération musculaire complète du quadriceps et ôtée dès lors qu'un verrouillage du genou était acquis (82). Une prévention thromboembolique par anticoagulation préventive a été faite jusqu'à reprise d'un déroulé du pas satisfaisant, en moyenne durant 10 jours après la chirurgie.

Les amplitudes articulaires du genou ont été progressivement travaillées en débutant tout d'abord par la récupération de l'extension du genou puis de la flexion, en actif aidé. Des ascensions actives de la rotule étaient demandées au sujet, en plus des mobilisations passives pour lutter contre les adhérences. Des contractions statiques quadricipitales associées à des techniques d'électrostimulation ont été réalisées pour lutter contre l'inhibition musculaire arthrogénique, qui survient par boucle réflexe et défaut de la commande neuromusculaire. Les exercices d'éveil musculaire du quadriceps ont été réalisés uniquement en chaîne cinétique fermée. Un glaçage instrumental par Game Ready® a été fait après chaque séance de kinésithérapie pour limiter le gonflement du genou.



Contractions statiques du quadriceps et travail de l'extension du genou

Techniques d'électrostimulation du quadriceps

La marche sans cannes a été autorisée lorsque l'équilibre monopodal sur le genou opéré était réalisable plus de 5 secondes et qu'il n'existait pas de boiterie pour une vitesse de marche confortable.

Au terme de la rééducation en centre, les patients étaient autorisés à reprendre leurs activités quotidiennes et professionnelles si l'état de leur genou le permettait. Des séances de kinésithérapie n'ont été prescrites qu'en cas d'amplitudes articulaires incomplètes ou de gonflement persistant du genou pour poursuite de la physiothérapie et restauration des amplitudes.

La pratique de la bicyclette a été conseillée lorsque le genou était indolore et dégonflé, avec restauration de l'extension complète et une flexion d'au moins 120°. Un programme écrit, en auto-réadaptation à partir du 2^e mois, était alors proposé à raison d'une pratique de la bicyclette 3 fois par semaine selon une durée de 15 min à augmenter progressivement sur 2 mois jusqu'à 90 min

(82). Des consignes de repos et de physiothérapie leur ont été donné en cas de douleurs ou gonflement du genou à la reprise des activités quotidiennes. La pratique de la natation a été permise après deux mois postopératoires en évitant la brasse.

La date de la première évaluation isocinétique leur était remise à la sortie du centre de rééducation, programmée aux alentours du 4^e mois postopératoire afin de permettre ou non la reprise de la course à pied.

Entre le 4^e et le 6^e mois postopératoires, la reprise de la course à pied a été proposée uniquement si le déficit de force musculaire isocinétique du quadriceps mesuré à 60°/s était inférieur à 40% par rapport au côté controlatéral (83). Un protocole écrit a été remis au patient pour encadrer sa reprise progressive de la course à pied (84) : d'abord à intensité modérée (70 % de la fréquence cardiaque maximale), 3 fois par semaine, de 15 à 30 minutes continues par séance le premier mois. Le deuxième mois, 3 séances ont été proposées : 2 séances d'entraînement par intervalles de 1 à 2 minutes jusqu'à 85 % de la fréquence cardiaque maximale, et une séance avec une accélération progressive de 10 × 50 à 100 m. Aucune séance de kinésithérapie n'a été prescrite si un retour à la course était autorisé.

Si le déficit des extenseurs du genou opéré était supérieur à 40 %, un retour à la course à pied n'était pas autorisé et le programme de course précédemment décrit n'était pas proposé au patient. La pratique de la bicyclette était proposée sans limitation en cas de déficit des extenseurs inférieur à 50 %. Si le déficit du quadriceps était supérieur à 50 %, seule la natation, y compris la brasse, était autorisée.

Aucune physiothérapie n'a été prescrite dans les deux conditions. En cas d'apparition de douleurs ou de gonflement du genou à la reprise de la course à pied, une période de repos leur était conseillé. Lors de raideur persistante du genou, une intensification de la rééducation leur était proposé en centre.

À partir du 6^e mois, la reprise des activités sportives plus spécifiques a été encouragée selon l'état et la stabilité du genou et selon les sensations et la motivation des sujets. Un protocole écrit leur a été remis pour une préparation physique progressive spécifique aux sports pivots sur la base de 3 entraînements par semaine avec une dominante endurance, une dominante vitesse et une dominante sauts et changements de direction, d'abord dans l'axe puis en pivot.

Au terme des 8 semaines du programme réalisé en autonomie, en l'absence de douleur ou gonflement du genou, une reprise avec l'équipe est autorisée, d'abord sans puis avec contact.

Le nombre de séances de kinésithérapie réalisé au total par chaque patient a été calculé comme suit : 10 séances hebdomadaires en centre hospitalier à raison de 2 séances par jour, multiplié par le nombre de semaine en rééducation (en moyenne 3 semaines si non précisé). Pour les patients ayant suivi une rééducation en cabinet : nombre de séance hebdomadaire multiplié par le nombre de semaines en kinésithérapie libérale.

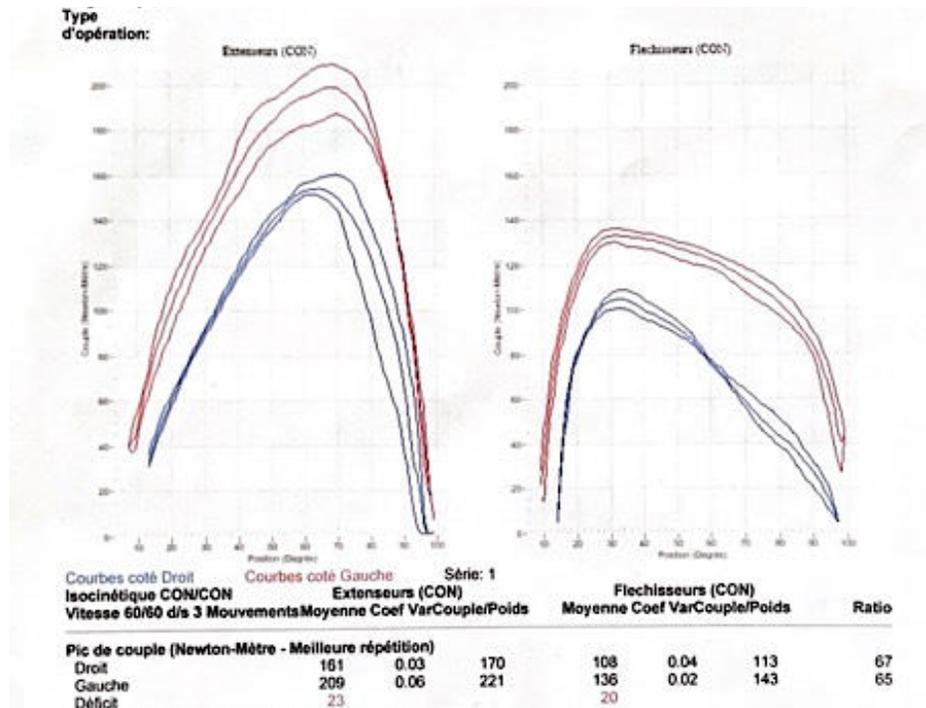
4) Évaluation isocinétique

a. Principes isocinétiques

Des tests isocinétiques sont habituellement réalisés pour évaluer le déficit de force musculaire suite à une ligamentoplastie de genou. Ils ont l'avantage d'évaluer la force maximale développée au niveau du genou sur pratiquement toute l'amplitude articulaire. Le dynamomètre isocinétique impose une vitesse constante en adaptant en continue la résistance appliquée au bras de levier exercé par le patient, au cours d'un mouvement dont l'amplitude articulaire est prédéfinie. La variable mesurée lors des tests isocinétiques est le moment de force (Nm) tout au long de la course articulaire prédéfinie, qui dépend de la force exercée par le patient sur le bras de levier. Dans la littérature, la valeur la plus souvent rapportée est le pic de force, qui désigne le plus grand moment de force produit lors du mouvement (85). La validité et la reproductibilité de ces mesures a été largement étudiée (86), et cette évaluation est désormais considérés comme le gold-standard pour mesurer le moment de force des extenseurs (quadriceps) et des fléchisseurs (ischio-jambiers) du genou (87).

Il n'existe pas de protocole standardisé de réalisation des tests isocinétiques dans le cadre de la reconstruction du LCA (87). Toutefois, l'évaluation est souvent réalisée à 3-4 mois post-opératoires pour évaluer la possibilité de reprise de la course à pied et entre 6 et 8 mois pour évaluer la reprise du sport de prédilection (88). Les vitesses angulaires les plus fréquemment utilisées sont 60°/s et 180°/s selon un mode concentrique (87). Le pic de force maximal obtenu diminue lorsque la vitesse angulaire augmente au-delà de 60°/s (89). Plusieurs répétitions sont

recommandées, car le pic de force maximal est le plus souvent obtenu lors de la troisième répétition à 180°/s mais peut être obtenu dès la première répétition à 60°/s (87). Une grande amplitude est préconisée pour optimiser la durée réellement isocinétique du mouvement car l'évaluation isocinétique implique une phase d'accélération et de décélération lors de l'inversion du sens des mouvements d'extension-flexion et flexion-extension du genou, pendant lequel la vitesse angulaire devient nulle (87).



*Résultat d'un test isocinétique au genou réalisé à 60°/s
Déficit de force de 23% des extenseurs à droite et de 20% des fléchisseurs à droite*

b. Protocole d'évaluation isocinétique et paramètres étudiés

Ainsi, à partir de ces principes sur l'isocinétisme, les tests ont été réalisés dans notre étude aux délais recommandés, à savoir aux alentours du 4^e mois post-opératoire, entre 6 et 9 mois et à 12 mois post-opératoires. Ces tests ont tous été réalisés sous la supervision d'un médecin rééducateur et du sport, dans les locaux de l'IRMS de Nantes, à l'aide d'un dynamomètre isocinétique de type Cybex (dynamomètre HUMAC®, Medimex, Sainte-Foy-lès-Lyon, France).

Le réétalonnage du dynamomètre a été effectué mensuellement conformément aux instructions du fabricant.

Selon une procédure standardisée, le patient était installé sur le siège du dynamomètre, avec maintien par des sangles abdominale et crurale, serrées et ajustées selon les mensurations du sujet. Avant la phase de test, il était demandé au patient de réaliser des mouvements sous-maximaux pour se familiariser avec la machine sur une amplitude articulaire du genou de 100° (0 – 100°). Le protocole d'évaluation consistait ensuite en la réalisation d'efforts maximaux encouragés par incitation verbale, pour des vitesses angulaires de 60°/s et 180°/s. D'abord trois répétitions à la vitesse angulaire 60°/s puis après 20 secondes de repos, cinq répétitions à vitesse angulaire 180°/s. Le membre inférieur non blessé était conventionnellement le premier testé lors de la première évaluation isocinétique.



Position du patient au dynamomètre isocinétique

Les pics de force des extenseurs et des fléchisseurs ont été mesurés pour chaque vitesse angulaire, en retenant le meilleur résultat pour chaque série.

Ces paramètres ont permis de calculer l'indice de symétrie (LSI) selon la formule : (pic de force côté opéré / pic de force côté non opéré) x 100) et ainsi le déficit du moment de force par rapport au côté controlatéral (1 – [pic de force genou opéré/pic de force genou sain]), retenu comme critère principal de jugement de l'étude. La reproductibilité des ratios bilatéraux des fléchisseurs et extenseurs du genou est jugée bonne à excellente (CCI : 0,78–0,98) (86).

5) Évaluations fonctionnelles

Les critères secondaires choisis ont été le test de saut monopodal et les évaluations fonctionnelles.

Le test de saut monopodal, ou single hop-test est un test de saut fréquemment utilisé comme critère objectif de retour au sport après reconstruction du ligament croisé antérieur. La distance de saut unique peut indiquer une amélioration de la force d'extension du genou (90).

Ce test a été réalisé à partir du sixième mois postopératoire selon un protocole établi, sous la supervision d'un médecin. Le patient a réalisé 3 sauts unipodaux en longueur, sans élan, le plus lointain possible, avec réception sur le même pied ayant pris l'impulsion. Les membres supérieurs étaient libres et la réception devait être « bloquée sans rebond » et maintenue 2 secondes.

La meilleure valeur après trois essais a été prise en considération et le calcul de l'indice de symétrie (LSI) de saut a été fait selon la formule : longueur côté opéré / longueur côté non opéré x 100. Un score d'indice de symétrie a été défini normal au-delà de 85% (91). De plus, les patients ayant un LSI \geq 85% au hop test ont davantage de chances de retour à un sport de compétition à un an (92). Ce test reproductible et fiable (ICC 0,82-0,93 (93)) est complémentaire aux tests isocinétiques pour réaliser une évaluation plus complète des qualités d'extension du genou et de la performance fonctionnelle (94).

Les scores fonctionnels du genou permettent d'évaluer le degré de déficience, d'invalidité et de handicap du patient souffrant d'une lésion du ligament croisé. Parmi les évaluations fonctionnelles possibles, nous avons choisi d'utiliser le score de fonction du genou de Lysholm et l'échelle d'activité de Tegner (95, 96).

Le score de Lysholm est un score spécifique d'évaluation de la chirurgie ligamentaire du genou, le plus utilisé en recherche, comme échelle de référence lors des études comparatives. Le score total sur 100 est réparti en 8 items, correspondant à une cotation de la douleur, de l'instabilité, du verrouillage, du gonflement, de l'accroupissement, de l'utilisation des escaliers, de la boiterie ou encore du port de canne. Le score est considéré comme excellent entre 95-100, bon entre 84-94, limite entre 65-83 et mauvais si inférieur à 65. Sa reproductibilité est très bonne (CCI 0,88 - 0,95) et la validité de construit est acceptable avec une bonne corrélation avec d'autres échelles d'évaluation du genou (97).

Instabilité	Douleur		Blocage		Gonflement		
Jamais de dérobement	25	Jamais	25	Jamais	15	Jamais	10
En exercice, rarement	20	En exercice, modérée	20	Accrochage sans blocage	10	Lors d'exercices intenses	6
En exercice, fréquemment	15	En exercice, importante	15	Blocage occasionnel	6	Lors d'une activité courante	2
Occasionnel, vie courante	10	Marche > 2 km, importante	10	Blocage fréquent	2	Constant	0
Souvent, vie courante	5	Marche < 2 km, importante	5	Blocage aigu à l'examen	5		
À chaque pas	0	Constante	0				
Escaliers	Accroupissement		Boiterie		Canne		
Pas de gêne	10	Pas de gêne	5	Aucune	5	Jamais	5
Léger handicap	6	Léger handicap	4	Modérée ou occasionnelle	3	En permanence	2
Une marche à la fois	2	Pas plus de 90°	2	Sévère et constante	0	Station debout impossible	0
Impossible	0	Impossible	0				
Lysholm Total :	0 à 64 points Mauvais		65 à 83 points Moyen		84 à 100 points Bon / Excellent		

Évaluation fonctionnelle selon le score de Lysholm

Le Tegner activity-level scale est une échelle des activités physiques sportives et professionnelles : de 0 (Handicap professionnel dû au genou) à 10 (Sport de compétition type football ou rugby au niveau national ou international). L'échelle a été initialement développée pour mesurer l'activité à la suite de blessures au genou et validée pour le suivi des ruptures du LCA aux ligamentoplasties (95).

10	Sport de compétition – niveau nation ou international : football.
9	Sport de compétition – niveau inférieur : football, hockey sur glace, gymnastique.
8	Sport de compétition : squash, badminton, athlétisme (saut), ski alpin.
7	Sport de compétition : tennis, athlétisme (course à pied), moto-cross, speedway, hand-ball, basket-ball. Sport de loisir : football, hockey sur glace, squash, athlétisme (saut), cross-country.
6	Sport de loisir : tennis, badminton, hand-ball, basket-ball, ski alpin, jogging à raison de 5 entraînements par semaine.
5	Sport de compétition : cyclisme. Sport de loisir : jogging à raison de deux entraînements par semaine sur sol irrégulier. Travail lourd : bâtiment...
4	Sport de loisir : cyclisme, jogging à raison de deux entraînements par semaine sur terrain plat. Travail d'activité moyenne : chauffeur routier, travail domestique éprouvant.
3	Sport de compétition ou loisir : natation, travail léger, marche en forêt possible.
2	Travail léger, marche en forêt impossible.
1	Travail sédentaire, marche terrain plat possible.
0	Handicap professionnel.

6) Analyse statistique

L'objectif de l'étude était de montrer l'absence de différence significative des reprises de ligamentoplasties par TQ comparé au gold-standard actuel c'est à dire les reprises par TP sur la récupération de force musculaire mesurée en isocinétisme. La méthodologie d'une étude comparative, de non-infériorité, sur deux populations appariées a été utilisée. Ainsi, il n'a pas été nécessaire de calculer au préalable un nombre nécessaire de sujet à inclure.

Les résultats attendus étaient que la technique de révision au TQ présenterait une évolution isocinétique et fonctionnelle comparable à celle réalisée au TP.

Une analyse univariée a tout d'abord été réalisée en utilisant des tests statistiques non paramétriques pour échantillons appariés. La comparaison entre les deux populations a été réalisée par un test de Wilcoxon pour les variables quantitatives et un test de Chi² de McNemar pour les variables qualitatives. Ainsi, chaque patient du groupe TQ a été comparé à son témoin. Lors de données manquantes par paires, une simple comparaison des moyennes a été faite par test de Mann Whitney. Lors de la comparaison des données qualitatives sur des petits effectifs, un test de Fischer a été préféré. Aucune étude pour mesures répétées n'a pu être réalisée en raison du faible nombre de paires qui avaient réalisé 3 évaluations. L'analyse statistique a été réalisée sur Logiciel GraphPad Prism 7.0 (GraphPad Software, San Diego, CA).

III. Résultats

1) Participants

Sur les 70 patients éligibles, 20 d'entre eux n'ont pas été analysés en raison de critères de non-inclusion :

- 5 patients TQ n'ont pas pu être appariés et inclus dans l'analyse, dont 3 en raison d'un âge élevé et 2 en raison d'un poids extrême.
- 14 patients TP n'ont pas été inclus en raison d'un nombre de patient TQ insuffisant.
- 1 patient TQ a été sorti de l'analyse après inclusion, faute de test isocinétique appariable en durée.

Au total, 50 patients, 32 hommes, 18 femmes, de 15 à 50 ans, tous sports et niveaux confondus, opérés entre mars 2010 et octobre 2022 ont été inclus soit 25 paires.

En ce qui concerne les possibilités d'appariement selon les tests isocinétiques, 43 tests ont été réalisés par les 25 patients TQ. Le premier test n'a pas pu être apparié que pour 5 d'entre eux tandis que leur deuxième test n'a pas pu être apparié pour 6 d'entre eux. Ainsi, 26% des tests isocinétiques réalisés par les patients TQ n'ont pas été analysés faute d'appariement en rapport avec le délai.

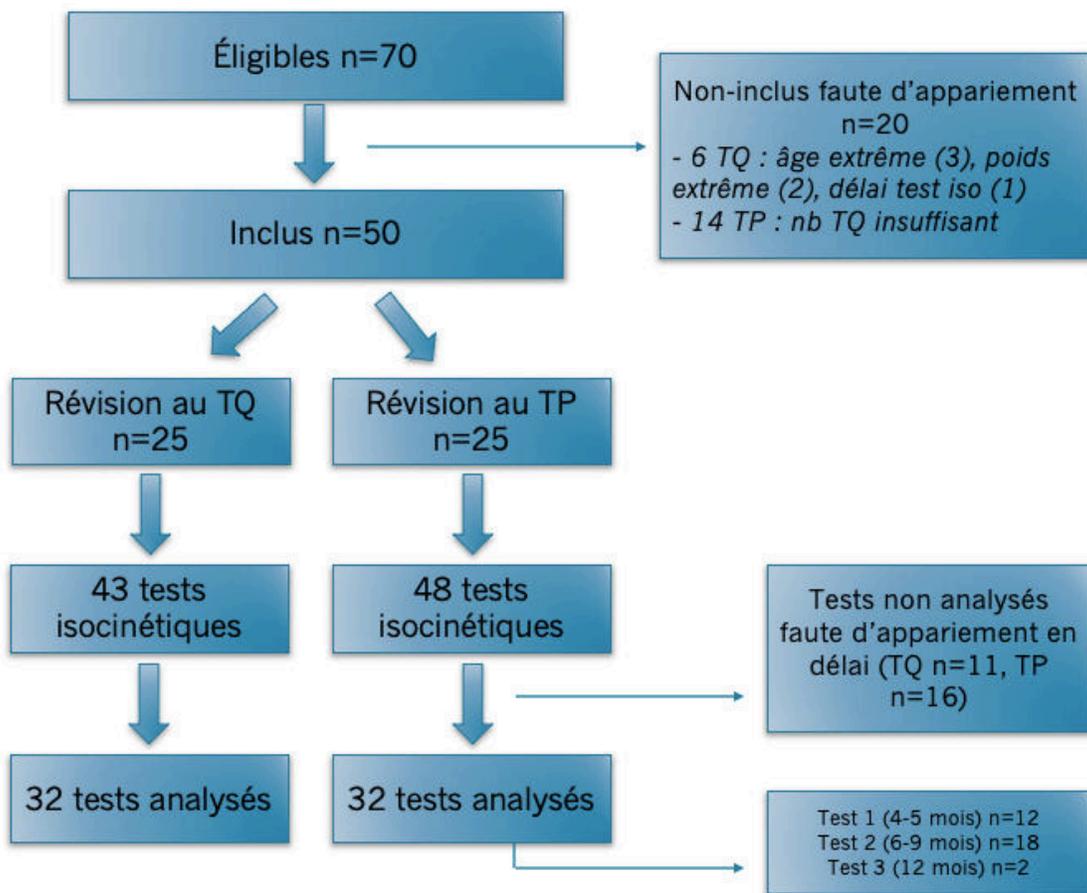


Figure 1 : Flowchart de l'étude

2) Comparaison entre les deux groupes

Vérification de l'appariement des deux groupes

La moyenne d'âge au moment de la révision de ligamentoplastie était de 27,9 ans dans le groupe TQ et 27,2 ans dans le groupe TP (Tableau 2).

Aucune différence statistiquement significative n'apparaissait entre les deux groupes pour l'âge, la taille et le poids.

	TQ	TP	p-value
Âge (ans)	27,9 +/- 7,6	27,2 +/- 7,1	0,07
Taille (cm)	173,8 +/- 8,3	173,4 +/- 9,2	0,96
Poids (kg)	71,6 +/- 10,5	69,4 +/- 9,6	0,07
Délai chirurgie/re-rupture (en jours)	1723	1787	0,61
(en mois)	57,4	59,5	
Délai re-rupture/reprise chir (en jours)	488,7 +/- 1206	237,1 +/- 164	0,37
(en mois)	16,3	7,9	
Délai 1ère et 2e ligamento (en jours)	2181 +/- 1608	2084 +/- 1318	0,45
(en mois)	72,7	69,5	

Tableau 2 : Caractéristiques de la population d'étude dans chaque groupe (TQ vs TP)

Moyennes +/- écart-types

Le délai moyen entre ligamentoplastie première et la reprise était de 2181 jours et 2084 jours respectivement, sans différence significative entre les deux groupes.

La rupture de plastie était survenue en moyenne à 4,7 ans et 4,9 ans, sans différence significative entre les deux groupes.

Il n'y avait pas non plus de différence significative pour ce qui est du délai entre la re-rupture du ligament croisé antérieur et la reprise de ligamentoplastie, 488 jours dans le groupe TQ et 237 jours dans le groupe TP.

Sport antérieur

Le score d'activité de Tegner avant rupture de ligament croisé était comparable entre les deux groupes (Tableau 3). Les types de sports étaient comparables également. Les sports pratiqués ont été regroupés en 4 catégories, selon la classification ARPEGE. Les sports pivot-contact prédominaient dans les 2 groupes, 12 dans le groupe TQ et 16 dans le groupe TP. Le football était le sport le plus représenté, à raison de 5 patients dans chaque groupe.

La re-rupture survenait lors d'un accident de sport pour la majorité des cas, en proportion égale dans les deux groupes.

	TQ	%TQ	TP	%TP	p-value
Tegner antérieur	6,5 +/- 1,5		6,5 +/- 1,5		0,83
Sport					
Pivot-contact	12	48%	16	64%	0,19
- Football	5		5		
- Basket	1		3		
- Rugby	0		4		
- Handball	2		1		
- Sport de combat	4		2		
Pivot sans contact	3	12%	4	16%	
- Volleyball	1		2		
- Ski	2		1		
Sans pivot ni contact	2	8%	2	8%	
- Course à pied	2		0		
- Equitation	0		1		
Sans appui	0	0%	1	4%	
Aucun	1	4%	2	8%	
NC	6	24%	0	0%	
Type d'accident					
- Sport	10	40%	13	52%	0,58
- Vie quotidienne	3	12%	0	0%	
- AVP	2	8%	0	0%	
- Chronique	1	4%	2	8%	
- NSP	9	36%	10	40%	

Tableau 3 : Caractéristiques de la population d'étude concernant le niveau et le type d'activité sportive pratiqué avant rupture du LCA et contexte de survenue de l'accident

Résultats exprimés en valeurs brutes associées à un pourcentage de répartition au sein de chaque groupe
Tegner exprimé en moyenne +/- écart-type

Type de sport réparti en catégories selon la classification ARPEGE :

- avec pivot et contact : football, rugby, basketball, handball, football américain, hockey sur glace, sports de combat, escrime, course landaise ;
- avec pivot sans contact : volley-ball, sports de raquettes, patinage, danse, gymnastique, ski alpin, ski nautique, snowboard, surf, voile, golf ;
- avec appuis sans pivot : course athlétisme, équitation, moto, guide de montagne, pétanque ;
- sans appui : canoë kayak, cyclisme, natation, plongée, aviron.

Prise en charge

La répartition pour les gestes méniscaux associés était comparable entre les deux groupes (13 dans le groupe TQ vs 11 dans le groupe TP) avec prédominance des lésions méniscales internes (6 et 7 respectivement) (Tableau 4).

Une ténodèse latérale type Lemaire a été presque systématiquement associée à la ligamentoplastie au TQ (80%) alors que seuls un quart des ligamentoplasties au TP ont eu un renfort antérolatéral.

Le type de rééducation a été significativement différent entre les deux groupes. Les reprises de ligamentoplastie au TQ ont été le plus souvent rééduquées en cabinet libéral de kinésithérapie contrairement aux TP qui avaient plutôt tendance à avoir été pris en charge en centre de rééducation hospitalier. Toutefois, le nombre de séances a été équivalent, en moyenne 41 et 42 séances respectivement dans le groupe TQ et TP.

	TQ	%TQ	TP	%TP	p-value
Geste méniscal associé	13	52%	11	44%	0,85
- MI	6		7		
- ME	4		2		
- MI+ME	3		2		
Plastie antéro-latérale associée					< 0,01*
- Ténodèse latérale	20	80%	6	24%	
- Pas de ténodèse associée	5	20%	19	76%	
Rééducation					< 0,01*
- Centre de rééducation	5	20%	19	76%	
- Kiné libéral	13	52%	6	24%	
- NC	7	28%	0	0%	
- Nb séance/personne	41,5		42,4		
Complications	7	37%	14	56%	0,08
- Douleur antérieure	4	21%	8	32%	
- Gonflement	1	5%	3	12%	
- Infection	2	11%	0	0%	
- Arthrofibrose	0	0%	2	8%	
- Instabilité	0	0%	1	4%	
- Aucune	12	63%	11	44%	
- NC	6	24%	0	0%	

Tableau 4 : Répartition des gestes méniscaux et plasties antéro-latérales associées en per-opératoire, et du type de rééducation et des complications post-opératoires entre les révisions au TQ et au TP

Résultats exprimés en valeurs brutes associées à un pourcentage de répartition au sein de chaque groupe

Nb séances/personne : moyenne du nombre de séances totales de kinésithérapie réalisées par les patients de chaque groupe

*Différence significative : p-value < 0,05

Complications

La survenue des complications n'a pas été différente entre les deux groupes. Cependant, les douleurs antérieures ont eu tendance à être plus souvent rapportées après révision par TP. Deux infections post-opératoires sont survenues après révision au TQ, aucune après reprise au TP. A contrario, deux cas d'arthrofibrose ont été décrits après révision au TP mais aucune dans le groupe TQ.

3) Scores fonctionnels

Sur le plan fonctionnel, le score de Lysholm a été comparable entre les 2 groupes, aux 2 temps d'évaluation. Toutefois, seuls 7 patients sur les 12 opérés par TQ sont documentés d'un score de Lysholm à 4-5 mois (Tableau 5). Le score fonctionnel a été considéré comme « bon » au moment du premier test à 4-5 mois (>84) et « excellent » au test de 6-9 mois (>95) dans les deux groupes. L'échelle d'activité de Tegner aux 2 tests n'était pas significativement différente entre les deux groupes.

Faute de données disponibles (n<5 dans le groupe TP), une analyse comparative sur l'indice de symétrie au hop-test entre les deux groupes n'a pas été réalisable. On constate tout de même que parmi les rares patients ayant réalisés un hop-test, l'indice de symétrie est supérieur à 85% dans les deux groupes, supposé comme étant associé à un meilleur taux de retour au sport à 1 an.

Scores fonctionnels	TQ		TP		p-value
Lysholm T1	87,4 +/- 10,7	n=7	91,7 +/- 8,9	n=12	0,22
Lysholm T2	96,1 +/- 8,2	n=10	97,2 +/- 6,2	n=14	0,71
Tegner T1	4,3 +/- 0,8	n=7	3,8 +/- 0,6	n=12	0,59
Tegner T2	4,4 +/- 0,7	n=10	4,2 +/- 0,6	n=13	0,37
LSI Hop-Test T2	86,5% +/- 9,7	n=8	89,5% +/- 7,3	n=4	

Tableau 5 : Comparaison des résultats des scores fonctionnels entre les groupes révision au TQ et révision au TP lors des 2 tests isocinétiques

Résultats exprimés en moyennes +/- écart-types

T1 = test isocinétique à 4-5 mois / T2 = test isocinétique à 6-9 mois

n = nombre de patients dont les données sont disponibles pour l'analyse

LSI Hop-Test = indice de symétrie entre genou opéré et genou sain sur la distance mesurée lors du test de saut monopodal

4) Résultats isocinétiques

Pics de couple

Les valeurs moyennes de pics de couple, exprimé en Newton-mètre, représentent la force musculaire isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou, évaluée à 60°/s et 180°/s.

Les données pour les 12 paires (soit 24 patients) ayant réalisé un Test 1 entre 4 et 5 mois post-opératoires sont rapportées dans le tableau 6.

	TQ	TP	p-value
TEST 1 (n=12)			
<i>Genou opéré</i>			
Ext 60°/s	109,7 +/- 23,4	130,7 +/- 52,1	0,22
Ext 180°/s	78,7 +/- 19,3	94,2 +/- 25,6	0,07
Flexion 60°/s	77,6 +/- 20,2	91,1 +/- 23,3	0,04*
Flexion 180°/s	60 +/- 18,9	70 +/- 16,5	0,08
<i>Genou sain</i>			
Ext 60°/s	187,8 +/- 41,5	201,2 +/- 54,2	0,39
Ext 180°/s	122,6 +/- 23,2	126,7 +/- 38,2	0,69
Flexion 60°/s	89,6 +/- 20,5	101,2 +/- 24	0,15
Flexion 180°/s	72,5 +/- 18,2	76,4 +/- 18,6	0,68

Tableau 6 : Comparaison des pics de couple de force musculaire des extenseurs et des fléchisseurs du genou opéré et du genou sain au test isocinétique réalisé à 4-5 mois post-opératoire entre le groupe TQ et le groupe TP

Résultats des pics de couple de force à 60 et 180 degrés par seconde exprimés en Newton-mètres (N-m)
 Ext = Evaluation des extenseurs du genou / quadriceps principalement
 Flexion = Evaluation des fléchisseurs du genou / ischio-jambiers principalement

*p-value : p < 0,05

Celles concernant les 18 paires du Test 2 réalisé entre 6 et 9 mois post-opératoires sont rapportées dans le tableau 7.

	TQ	TP	p-value
TEST 2 (n=18)			
Genou opéré			
Ext 60°/s	128,3 +/- 56,6	131,2 +/- 43,8	0,51
Ext 180°/s	91,7 +/- 37,4	91,6 +/- 27,2	0,81
Flexion 60°/s	80,6 +/- 27,9	89,2 +/- 30	0,08
Flexion 180°/s	63,1 +/- 22	68,6 +/- 20,9	0,25
Genou sain			
Ext 60°/s	179,8 +/- 61,7	181,4 +/- 49,6	0,78
Ext 180°/s	123,5 +/- 40,8	121,2 +/- 35,8	0,69
Flexion 60°/s	90,4 +/- 29,1	95,6 +/- 25,3	0,59
Flexion 180°/s	72,6 +/- 22,9	74,3 +/- 21	0,74

Tableau 7 : Comparaison des pics de couple de force musculaire des extenseurs et des fléchisseurs du genou opéré et du genou sain au test isocinétique réalisé à 6-9 mois post-opératoire entre le groupe TQ et le groupe TP

Résultats des pics de couple de force à 60 et 180 degrés par seconde exprimés en Newton-mètres (N-m)
 Ext = Evaluation des extenseurs du genou / quadriceps principalement
 Flexion = Evaluation des fléchisseurs du genou / ischio-jambiers principalement

Genou sain :

La force musculaire des extenseurs et des fléchisseurs du genou sain a été comparable entre les deux groupes lors des tests isocinétiques quelle qu'a été la vitesse angulaire et les différents délais post-opératoires.

Genou opéré :

La force musculaire des extenseurs du genou opéré a été comparable entre les deux groupes lors du test à 4-5 mois et lors du test réalisé à 6-9 mois post-opératoires. La force des extenseurs du groupe TP a eu une tendance à être plus grande que dans le groupe TQ mais uniquement pour la vitesse de 180°/s. Cette tendance a disparu lors du test réalisé à 6-9 mois.

La force des fléchisseurs à 60°/s était significativement plus grande dans le groupe TP et il persistait une tendance lors du test réalisé à 6-9 mois.

Déficit de force

Le déficit du moment de force des extenseurs du genou par rapport au côté controlatéral au test à 4-5 mois et au test à 6-9 mois est représenté dans le tableau 8.

Extenseurs	TQ	TP	p-value
TEST 1 (n=12)			
Déficit Ext/Quadri 60°/s	40,5% +/- 11,7	34,4% +/- 20,6	0,47
Déficit Ext/Quadri 180°/s	35,5% +/- 12	22,9% +/- 17	0,06
TEST 2 (n=18)			
Déficit Ext/Quadri 60°/s	30,1% +/- 16,2	27,4% +/- 13,2	0,73
Déficit Ext/Quadri 180°/s	27,2% +/- 13,2	23,6% +/- 12,4	0,41

Fléchisseurs	TQ	TP	p-value
TEST 1 (n=12)			
Déficit Fléch/IJ 60°/s	11,4% +/- 11,8	7,1% +/- 16,9	0,46
Déficit Fléch/IJ 180°/s	13,8% +/- 9,5	7,6% +/- 12	0,19
TEST 2 (n=18)			
Déficit Fléch/IJ 60°/s	13,6% +/- 12,7	8,6% +/- 19,3	0,42
Déficit Fléch/IJ 180°/s	17,5% +/- 19,3	6,4% +/- 20,7	0,27

Tableau 8 : Comparaison des déficits de force musculaire des extenseurs puis des fléchisseurs du genou par rapport au côté sain entre le groupe TQ et le groupe TP lors des tests isocinétiques réalisés à 4-5 mois (test 1) et à 6-9 mois post-opératoire (test 2)

Déficit du moment de force par rapport au côté controlatéral exprimé en pourcentage (%), calculé comme suit :
(1 - [pic de force genou opéré / pic de force genou sain])

Ext/Quadri = Evaluation des extenseurs du genou / quadriceps principalement
Fléch/IJ = Evaluation des fléchisseurs du genou / ischio-jambiers principalement

Le déficit de force du quadriceps à 4-5 mois post reprise au TQ a eu tendance à être plus grand par rapport aux révisions au TP (35,5% vs 23%), à 180°/s. Cette tendance a disparu lors du test réalisé à 6-9 mois (27 vs 24%). Il n'y a pas non plus de différence significative sur le déficit de force des extenseurs du genou à 60°/s entre les deux techniques.

Le déficit de force des fléchisseurs n'a pas été différent entre les deux groupes (Tableau 8).

Évolution T1-T2 (Tableau 9)

Seuls 5 paires (soit 10 patients) ont réalisé à la fois le test à 4-5 mois et celui à 6-9 mois.

La progression entre les 2 tests a eu tendance à être plus grande dans le groupe TQ uniquement pour la force des extenseurs du genou évaluée à 180°/s (16% vs 7%).

Extenseurs	TQ	TP	p-value
Différence Extenseurs 60°/s	16,2% +/- 6,9	7,4% +/- 12,3	0,19
- Déficit Ext/Quadri 60°/s T1	45,8% +/- 11,7	31,0% +/- 28	
- Déficit Ext/Quadri 60°/s T2	29,6% +/- 15,9	23,5% +/- 18,3	
Différence Extenseurs 180°/s	16,3% +/- 3,2	6,6% +/- 5,2	0,06
- Déficit Ext/Quadri 180°/s T1	39,5% +/- 13,1	28,5% +/- 23,7	
- Déficit Ext/Quadri 180°/s T2	23,2% +/- 10,8	21,9% +/- 19,5	
Fléchisseurs	TQ	TP	p-value
Différence Fléchisseurs 60°/s	6,9% +/- 14,6	6,0% +/- 11,9	1
- Déficit Fléch/IJ 60°/s T1	19,4% +/- 11,8	7,9% +/- 26	
- Déficit Fléch/IJ 60°/s T2	12,5% +/- 6,4	1,9% +/- 19,1	
Différence Fléchisseurs 180°/s	12,5% +/- 18,5	0,2% +/- 11,9	0,31
- Déficit Fléch/IJ 180°/s T1	26,1% +/- 24,2	8,6% +/- 26,6	
- Déficit Fléch/IJ 180°/s T2	13,5% +/- 6,8	8,4% +/- 14,9	

Tableau 9 : Comparaison de l'évolution du déficit de force musculaire des extenseurs et des fléchisseurs du genou opéré entre les 2 groupes de 5 patients chacun après appariement ayant réalisé un test isocinétique à 4-5 mois et à 6-9 mois.

Différences T1-T2 exprimées en moyenne du pourcentage d'amélioration du déficit de force dans chaque groupe
Déficit du moment de force par rapport au côté controlatéral exprimé en pourcentage (%)
T1 = test isocinétique à 4-5 mois / T2 = test isocinétique à 6-9 mois

Résultats au Test 3 à 12 mois

Seuls 2 patients révisés au TQ appariés par 2 patients révisés au TP ont réalisé un test isocinétique au temps 3, à savoir à 12 mois. En raison de ce faible nombre, une simple description sera faite ci-dessous, sans analyse statistique comparative. Les résultats sont illustrés dans le tableau 10.

Pour la paire 1 le déficit après TQ des extenseurs est un peu plus grand (22 et 21%) par comparaison au déficit après TP (10 et 17%). Le déficit des fléchisseurs est également plus grand de l'ordre de 30% contre 2 à 7%.

Pour la paire 2, les déficits semblent inversés par comparaison avec la paire 1. Le déficit des extenseurs et fléchisseurs est plus grand après TP.

TEST 3 (appariement)	TQ	TP
Paire 1 (genou opéré)		
Pic de couple Ext 60°/s	122	108
Ext 180°/s	80	66
Pic de couple Flexion 60°/s	54	49
Flexion 180°/s	43	34
Déficit Extenseurs 60°/s	22,3%	10,7%
Extenseurs 180°/s	21,6%	17,5%
Déficit Fléchisseurs 60°/s	32,5%	7,5%
Fléchisseurs 180°/s	34,8%	2,8%

TEST 3 (appariement)	TQ	TP
Paire 2 (genou opéré)		
Pic de couple Ext 60°/s	148	167
Ext 180°/s	104	111
Pic de couple Flexion 60°/s	95	81
Flexion 180°/s	88	69
Déficit Extenseurs 60°/s	17,3%	18,9%
Extenseurs 180°/s	1,9%	13,9%
Déficit Fléchisseurs 60°/s	8,6%	20,6%
Fléchisseurs 180°/s	10,2%	0%

Tableau 10 : Comparaison brute des résultats isocinétiques du Test 3, réalisé à > 11 mois post-opératoire, pour les 2 patients TQ, chacun apparié à un patient TP sur le sexe, l'âge et le poids.

Résultats des pics de couple de force à 60°/s et 180°/s exprimés en Newton-mètres (N-m)

Déficit du moment de force par rapport au côté controlatéral exprimé en pourcentage (%), calculé ainsi : $(1 - [\text{pic de force genou opéré} / \text{pic de force genou sain}])$

Pour compléter ces observations, nous avons rapporté les résultats de tous les tests isocinétiques réalisés à > 11 mois post-opératoires, considéré comme « TEST 3 », en prenant en compte tous les patients inclus (n=50) et en s'affranchissant de l'appariement.

Ainsi, 4 patients ont réalisé un test isocinétique à 11,7 mois en moyenne de la révision au TQ et 5 patients à 12,4 mois de recul d'une révision au TP. Parmi ces patients suivi à distance, ceux du groupe TQ sont plus jeunes (de 5 ans), plus petits (de 5 cm) et d'un poids inférieur (de 9 kg) à ceux du groupe TP, avec un niveau sportif légèrement supérieur. Comparé à notre population d'intérêt incluse après appariement, les patients TQ suivis à > 11 mois post-opératoires sont aussi plus jeunes (de 9 ans), plus petits (de 7 cm) et d'un poids inférieur (de 11 kg) avec un Tegner antérieur supérieur (de 0,6). Les patients TP suivis à distance sont eux aussi plus jeunes et plus petits mais de poids et niveau sportif antérieur comparables à la population d'étude de TP incluse dans l'analyse principale.

Malgré les différences anthropométriques entre les deux groupes, le déficit de force isocinétique a été comparable entre les 2 groupes que ce soit sur les extenseurs et les fléchisseurs (Tableau 11). Le déficit de force musculaire persistant à 1 an d'une révision de ligamentoplastie au TQ est de 13 à 25% sur les extenseurs et de 12 à 21% sur les fléchisseurs, à 60 et 180°/s respectivement.

Le score fonctionnel de Lysholm a été jugé excellent à 12 mois dans les deux groupes, maximal à 100 dans le groupe TQ contre 96,5 en moyenne dans le groupe TP (Tableau 12). Le Tegner moyen atteint à 12 mois a été de 5 en moyenne dans les deux groupes.

TEST 3 (sans appariement)	TQ (n=4)	TP (n=5)
Genou opéré		
Pic de couple Ext 60°/s	119,3 +/- 21,3	145,4 +/- 32,1
Ext 180°/s	77,5 +/- 19,8	98,4 +/- 23
Pic de couple Flexion 60°/s	69,7 +/- 17,6	78,2 +/- 25,3
Flexion 180°/s	54,3 +/- 22,7	61,6 +/- 18,7
Genou sain		
Pic de couple Ext 60°/s	157,5 +/- 15,1	190 +/- 57,6
Ext 180°/s	89,5 +/- 19,9	127,6 +/- 38
Pic de couple Flexion 60°/s	88,5 +/- 15	96,2 +/- 35
Flexion 180°/s	63 +/- 25,6	73 +/- 32,6
Déficit de force musculaire		
	TQ	TP
Déficit Ext/Quadri 60°/s	24,7% +/- 6,2	21,7% +/- 8,0
Déficit Ext/Quadri 180°/s	13,2% +/- 10,6	21,1% +/- 10,5
Déficit Fléch/IJ 60°/s	21,2% +/- 13,1	17,3% +/- 10,4
Déficit Fléch/IJ 180°/s	12,5% +/- 15,5	11,4% +/- 13,4

Tableau 11 : Comparaison des données isocinétiques parmi tous les patients inclus ayant réalisé un test à > 11 mois post-opératoire, indépendamment de l'appariement sur le sexe, l'âge, le poids.

Résultats des pics de couple de force à 60°/s et 180°/s exprimés en Newton-mètres (N-m)
 Déficit du moment de force par rapport au côté controlatéral exprimé en pourcentage (%), calculé ainsi :
 (1 - [pic de force genou opéré / pic de force genou sain])
 Moyennes +/- écart-types

Caractéristiques patients à T3	TQ	vs population TQ	TP	vs population TP
Âge (ans)	18,7 +/- 3,8	-9,2	23,6 +/- 4,6	-3,6
Taille (cm)	166,7 +/- 7,3	-7,1	171,4 +/- 7,1	-2
Poids (kg)	61,2 +/- 3,8	-11,1	70,2 +/- 10,9	0,8
Tegner antérieur	7 +/- 1,1	0,6	6,4	-0,1

Scores fonctionnels à T3	TQ	TP
Evaluation T3 (en mois)	11,7 n=4	12,4 n=5
Lysholm T3	100 n=4	96,5 n=4
Tegner T3	5 +/- 0,81 n=4	5 +/- 1,4 n=4
LSI Hop-Test T3	90% +/- 9,9 n=4	93,5% +/- 9,1 n=2

Tableau 12 : Comparaison des résultats fonctionnels et des caractéristiques des patients analysés au Test 3, à environ 1 an post-opératoire, entre les 2 techniques chirurgicales, indépendamment de l'appariement sur le sexe, l'âge et poids

Résultats exprimés en moyennes +/- écart-types

vs population TP = données comparées à celles de la population d'étude des 25 patients TP inclus après appariement
 n = nombre de patients dont les données sont disponibles pour l'analyse
 LSI Hop-Test = indice de symétrie entre genou opéré et genou sain sur la distance mesurée lors du test de saut monopodal

IV. Discussion

À notre connaissance, il s'agit de la première étude comparant les révisions de ligamentoplastie du LCA au DIDT par procédure au TQ ou au TP. L'objectif principal était de comparer la récupération de la force musculaire isocinétique en fixant la procédure de révision au TP comme référence.

Vingt-cinq sujets repris chirurgicalement par TQ ont été inclus, chacun apparié à un sujet opéré par TP selon l'âge, le sexe, le poids et le délai post-opératoire au suivi.

Avant chirurgie, les deux groupes étaient comparables pour le niveau sportif antérieur (échelle de Tegner) et le type de sport pratiqué. Aucune différence significative n'existait entre les deux groupes pour le délai de rupture de la plastie et le délai de reprise chirurgicale après rupture de la plastie. La répartition des gestes méniscaux associés à la chirurgie était également comparable. En revanche, le recours à une ténodèse antéro-latérale et le type de rééducation (kinésithérapie libérale ou centre de rééducation spécialisé) différaient significativement entre les deux groupes.

1) Récupération de la force musculaire isocinétique

Globalement il n'a pas été mis en évidence de différence significative pour le déficit de force musculaire isocinétique mesuré à 4-5 mois et 6-9 mois, entre le groupe de révision par TQ et par TP. Seules 3 études antérieures s'étaient intéressées aux révisions de ligamentoplastie par TQ, une seule comportait des données isocinétiques sans comparaison avec une autre technique (98).

Tout d'abord, nos résultats sont comparables à ceux des études antérieures réalisées après une ligamentoplastie première par TQ. En effet, dans une méta-analyse de 18 études portant sur 952 reconstructions du LCA par TQ, la force des extenseurs du genou à 5-8 mois post-opératoires était similaire à celle mesurée après la technique au TP mais plus faible qu'après reconstruction aux IJ sans doute en raison de la morbidité du site donneur à savoir l'appareil extenseur (99). De même, Han et al n'ont pas montré de différence de récupération de force musculaire isocinétique des fléchisseurs et des extenseurs du genou à 6 et 12 mois post-opératoires entre le groupe TQ et le groupe TP. Les LSI étaient également comparables à 5-8 mois selon une valeur de 71 à 76% connu de la littérature après ligamentoplastie première au TQ (99, 100).

En ce qui concerne la révision de ligamentoplastie par TQ, Hunnicutt et al ont montré une symétrie de force des extenseurs du genou de 71,6 % (\pm 19,3) et 76,6 % (\pm 16,4) à 60°/s et 180°/s respectivement à 6 mois post-opératoires (98). Cette étude rétrospective porte sur 100 patients (52 hommes/48 femmes), plus jeunes de 5 ans en moyenne (22,6 ans \pm 8), opérés par un même chirurgien entre 2011 et 2018 de révisions au TQ de ligamentoplasties primaires diverses. La première greffe était prélevée aux IJ (32%), au TP (23%) ou par allogreffes (36%) et 20% correspondaient à une seconde révision. L'évaluation fonctionnelle du genou (IKDC) a été réalisée à intervalles réguliers et les tests isocinétiques à 6 et 12 mois post-opératoires. Dans le sous-groupe des 29 ligamentoplasties premières d'IJ révisées par TQ, le LSI du quadriceps à 6 mois est de 72,2% et 78,7% à 60°/s et 180°/s. Nos résultats sont donc comparables à 6 mois avec un LSI de 70% et 72,8%. En revanche, concernant la force des fléchisseurs, nos résultats sont moins bons en comparaison à 6 mois, avec un LSI à 86,4 et 82,5% contre 90,8% et 93,6% dans la sous-population de reprises d'IJ par TQ (98) dans laquelle les patients sont plus jeunes de 5 ans en moyenne.

Cependant, il existe une tendance à un déficit de force des extenseurs plus grand dans le groupe TQ à 4-5 mois (différence de 6 et 12% à vitesse lente et rapide) par rapport à une reprise au TP. Cette tendance disparaît à 6-9 mois. A l'inverse, après ligamentoplasties premières, la force isocinétique à court terme (3 et 6 mois) après ligamentoplastie au TQ était rapportée comme plus grande par comparaison à la technique au TP, mais celle-ci était comparable à long terme (> 12 mois) (99, 100). Nos résultats pourraient s'expliquer par la prise en charge rééducative post-opératoire immédiate des reprises au TP plus souvent réalisée en centre de rééducation spécialisée que les reprises au TQ, prises en charge plus fréquemment en kinésithérapie libérale. Par une rééducation précoce plus intensive de 2 séances quotidiennes, nous supposons une meilleure prise en charge post-opératoire en hospitalisation permettant d'obtenir plus rapidement un genou sec, mobile et indolore permettant la levée de l'inhibition musculaire de protection du genou plus rapidement qu'en soins libéraux limités à 2-3 séances par semaine. Ainsi la récupération d'une plus grande force musculaire isocinétique à 4-5 mois post-opératoires serait encore présente alors que l'écart entre les deux groupes disparaîtrait à distance de ces soins (6-9 mois). Cependant, les patients de chacun des groupes ont suivi un nombre total de séances de rééducation équivalent, (41 et 42 séances respectivement dans le groupe TQ et TP). Les patients du groupe TQ ont donc suivi une rééducation en cabinet libéral plus longtemps mais en fréquence moindre.

Selon ce constat, ce serait la précocité de la rééducation et sa fréquence qui seraient intéressantes afin de restaurer à court terme la force musculaire notamment des extenseurs du genou. A plus long terme, cela n'aurait par contre plus d'intérêt. En effet, l'espace-temps entre un traitement et son efficacité serait trop grand pour que celui-ci puisse encore être efficace. Si cette hypothèse était confirmée par une étude randomisée par rapport aux types de rééducation, les patients avec des échéances précoces, professionnelles ou sportives, auraient intérêt à bénéficier d'un centre de rééducation spécialisé.

À l'inverse, il y a une quinzaine d'années, certains auteurs ont décrit qu'un programme de réadaptation trop agressif se traduisait le plus souvent par un plus grand déficit de force isocinétique des extenseurs en raison d'un genou opéré « forcé » source de douleurs et donc de la poursuite ou de la réapparition de l'inhibition musculaire de protection du genou (63). En effet, la plupart du temps, les patients, mais également les soignants, pensent que les exercices améliorent la force du genou alors que c'est l'état du genou qui permet au patient de retrouver la force par la réalisation d'exercices physiques.

Une autre hypothèse serait qu'il existe une inhibition musculaire arthrogénique plus importante après révision au TQ en réponse à la iatrogénie de prélèvement du tendon quadricipital qui serait plus grande par rapport au prélèvement du TP. Cette hypothèse ne semble pas confirmée étant donné la restauration de la force musculaire après ligamentoplastie première au TQ qui est comparable à celle d'une ligamentoplastie première au TP comme décrit précédemment (99, 100).

De plus, on observe des valeurs brutes de pic de couple de force musculaire en isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou plus faibles dans le groupe TQ à 4-5 mois à la fois sur le genou sain et opéré, ce qui pose la question de la force pré-opératoire du groupe TQ qui n'était peut-être pas comparable à celle du groupe TP. On pourrait alors supposer l'existence d'un biais de sélection au moment du choix en aveugle de la chirurgie puisque la force pré-opératoire du genou ne représente pas un critère de choix de révision d'une ligamentoplastie. En effet, les critères orientant vers tel ou tel type de révision chirurgicale ne sont pas parfaitement établis et incombent avant tout au chirurgien et à ses habitudes. Pour contrôler ce biais hypothétique, il aurait fallu mesurer la force isocinétique du genou avant la reprise chirurgicale afin de la comparer entre les deux groupes.

À 12 mois de recul de la chirurgie de révision de ligamentoplastie, la restauration de la force isocinétique, indépendamment de l'appariement sur le sexe, l'âge et le poids, a montré 13 à 25% de déficit sur les extenseurs du genou et 12 à 21% de déficit sur les fléchisseurs du genou, à vitesse rapide et lente respectivement. Les révisions au TQ de notre étude atteignent donc un indice de symétrie des extenseurs de 75,3% et 86,8% à vitesse lente et rapide, comparables aux résultats rapportés par Hunnicutt de 81,5 % ($\pm 19,3$) et 83,9 % ($\pm 16,9$) à 12 mois (98). Ainsi, la symétrie n'est pas atteinte à 1 an post-révision de ligamentoplastie, alors que Dauty et al., avaient rapporté une meilleure symétrie de 12% sur les extenseurs et 6% sur les fléchisseurs après étude de 10 révisions de DIDT par TP, avec des résultats comparables par rapport aux ligamentoplasties de première intention selon la même technique (64). Mais, ces bons résultats avaient été obtenus après exclusion des patients ayant présenté des douleurs post-opératoires et aucune étude des révisions au TQ n'avait été réalisée.

Après reconstruction primaire au TQ, la force des extenseurs du genou n'avait pas non plus atteint 90% de symétrie, même à 24 mois après l'opération, d'après les constatations de Johnston (99). Inversement, la force des fléchisseurs du genou après reconstruction primaire au TQ dépassait 90 % de symétrie à la période postopératoire de 9 à 15 mois (99) tandis qu'une symétrie complète des fléchisseurs a été obtenue après révision au TQ de ligamentoplasties primaires diverses (98). Cela n'a pas été le cas dans notre étude avec un déficit persistant de 12 à 21% dans le groupe TQ et TP à 12 mois post-opératoires. Nos résultats pourraient s'expliquer par une récupération incomplète de la force des fléchisseurs préexistante à la chirurgie de révision, faisant suite à la ligamentoplastie primaire par morbidité du site donneur aux ischio-jambiers.

L'interprétation de nos résultats sur les déficits de force musculaire a été faite de façon indépendante entre le Test 1 (à 4-5 mois) et le Test 2 (à 6-9 mois) et sans tenir compte de l'effet temps. Parmi nos 10 patients qui ont réalisé les 2 tests, la progression a eu tendance à être plus grande dans le groupe TQ pour la force des extenseurs du genou (180°/s). Le déficit de force des extenseurs diminuait en moyenne de 16% dans le groupe TQ contre 7,4% dans le groupe TP, à la fois à vitesse rapide et à vitesse lente. La progression du groupe TQ plus grande que celle observée par le groupe TP s'explique en fait par un niveau de force moins important au temps T1 du groupe TQ. Pour les fléchisseurs du genou, le déficit a diminué globalement de la même façon entre les deux groupes, soit d'environ 6%.

2) Résultats fonctionnels

Sur le plan fonctionnel, aucune différence significative n'a été mise en évidence sur les scores de Lysholm et de Tegner, aux deux temps d'évaluation entre les reprises au TQ et au TP. Seules deux études avaient comparé les résultats fonctionnels des révisions au TQ avec une autre technique, à savoir aux ischio-jambiers. Barié et al. retrouvaient des résultats similaires aux nôtres pour les scores fonctionnels IKDC, Lysholm et de satisfaction entre les révisions de ligamentoplasties au TQ et les révisions aux IJ, à 4,4 ans de recul à propos d'une étude rétrospective de 78 patients (101). Häner et al. n'avaient également pas trouvé de différence en termes de stabilité et fonction du genou après comparaison prospective de 51 patients suivis sur 2 ans ayant été opérés soit d'une reprise par TQ ou soit d'une reprise aux ischio-jambiers controlatéraux (102).

Après ligamentoplasties premières au TQ, les résultats fonctionnels, la stabilité du genou et le taux de survie du greffon sont comparables à ceux des autogreffes TP et IJ selon la méta-analyse de Dai en 2021 à propos de 24 études incluant 19584 patients (103). Cependant, la morbidité du site donneur mesurée sous la forme des douleurs antérieures était significativement plus faible avec l'autogreffe TQ qu'avec les autogreffes TP notamment lors de l'agenouillement et de l'accroupissement (71, 75, 104).

Les résultats fonctionnels sont jugés bons à excellents (Lysholm 87,4 et 96,1) respectivement à 4-5 mois et 6-9 mois de la reprise de ligamentoplastie au TQ. Haner et al., Barié et al. ainsi que Wright et al., retrouvaient un score de Lysholm moyen à 82 points, un peu moins bon que le nôtre à plus de 2 ans post-opératoires respectivement chez des patients souvent plus âgés et en surpoids, opérés de ligamentoplasties premières variées (57, 101, 102). Pour mémoire, après première reconstruction au TQ, un score de Lysholm moyen > 90 est attendu à un an post-opératoire d'après la méta-analyse de Mouarbes et al en 2019 (71). Sur nos 4 patients révisés au TQ évalués à un recul de 12 mois, nous avons rapporté un score de Lysholm à 100 avec un Tegner moyen de 5. Les jeunes patients sans lésion du cartilage qui reprennent un niveau d'activité physique élevé semblent obtenir en effet de meilleurs résultats après chirurgie de révision du LCA (101).

Nous avons montré que l'échelle d'activité de Tegner ne différait pas entre les deux groupes, aux deux temps d'évaluation. A 6-9 mois de recul, il est en moyenne de 4,4 et de 4,2 dans le groupe TQ et TP respectivement. De plus, le Tegner moyen avant rupture de ligament croisé était identique entre les deux groupes, à 6,5. Cette différence de 2 points sur le Tegner avant blessure et après révision de ligamentoplastie avait également été retrouvée par Barié 2019 mais à un recul moyen de 4 ans (101). Ce résultat était concordant avec la méta-analyse de Wright, avec un Tegner moyen de 6,1 rapporté par 299 révisions de ligamentoplastie à un suivi moyen de 5,4 ans (57). Parmi nos données disponibles à 1 an chez 4 patients TQ, le Tegner moyen était de 5.

Toutefois, notre durée de suivi n'a pas été suffisante pour obtenir un retour à un niveau d'activité Tegner 6 ni d'évaluer de façon fiable le retour au sport. Bien que les résultats cliniques, fonctionnels et isocinétiques soient encourageants, le patient doit donc être prévenu en pré-opératoire des risques de reprise sportive à un niveau inférieur. La cause la plus fréquente de la baisse du niveau sportif étant la peur d'une nouvelle blessure (55 %), le lourd parcours chirurgical et rééducatif pourrait décourager la reprise en compétition (101). La pratique de loisir doit alors être privilégiée, afin de diminuer le risque de re-rupture de la reprise de la ligamentoplastie. En effet, il est possible que le désir sportif des patients déjà opérés à deux reprises d'un même genou soit revu à la baisse d'autant plus à mesure que le patient vieillit (64). Barié et al. retrouvaient en effet le manque de temps/d'intérêt dans 26% des causes de baisse de niveau sportif (101).

Le hop-test n'a d'intérêt qu'en cas de reprise sportive en compétition et n'est pas réalisé en consultation en l'absence d'enjeu sportif. Malgré le peu de données disponibles, aucune différence entre les deux groupes à 6-9 mois n'a été mise en évidence. L'indice de symétrie a été supérieur à 85% en moyenne dans les deux groupes, supposé comme étant associé à un meilleur taux de retour au sport à 1 an (92). De plus, à 12 mois post-opératoires, l'indice de symétrie du hop-test a atteint 90% dans les deux groupes. Par comparaison aux résultats à 2 ans à propos des ligamentoplasties primaires au TQ, le LSI était comparable au nôtre, de l'ordre de 91 % (105).

3) Complications précoces post-opératoires

Le taux de complication ne diffère pas significativement après révision de ligamentoplastie par TQ et par TP. Cependant, les données sont manquantes pour 6 patients TQ soit un quart d'entre

eux, ce qui limite l'analyse. Pour autant, davantage de douleurs antérieures dans le groupe TP par rapport au groupe TQ ont été rapportées (8 vs 4). Cela va dans le sens des résultats des méta-analyses sur les greffes de TQ qui retrouvent toutes, un taux de douleur antérieure au site de prélèvement significativement inférieur aux greffes TP après première rupture de LCA (71, 103, 104). Han et al. retrouvaient 8,3% de douleurs antérieures après ligamentoplastie première au TQ contre 39% dans le groupe TP (75). Ces données ont contribué au regain d'intérêt pour les autogreffes au TQ, comme option chirurgicale de reconstruction première du LCA efficace pour réduire la morbidité du site donneur. Cependant, nos résultats obligent à plus de modération étant donné que 32% (8/25) ont déclaré des douleurs antérieures après révision au TP contre 21% (4/19) si seuls, les patients TQ qui ont répondu sont pris en considération (Tableau 3). Ces chiffres sont comparables à ceux de Hunnicutt et al sur les révisions au TQ, avec 16% de douleurs antérieures à 3 ans de recul (98).

Aucun cas d'arthrofibrose n'a été déclaré dans le groupe TQ, contre 2 cas dans le groupe TP. Peu de données existent sur cette complication après révision de ligamentoplastie. Seul Hunnicutt et al. ont décrit 4 révisions au TQ qui ont nécessité une arthrolyse, soit 5% sur un recul de 3 ans (98).

Aucune complication infectieuse n'a été rapportée dans le groupe TP, contre 2 cas dans le groupe TQ, dont une infection décrite comme « localisée à la cicatrice ». Ces chiffres peuvent être considérés comme élevés par rapport à ceux de la littérature. En effet, Maletis et al ont rapporté un taux global d'infection du site opératoire de 0,48 %, dont 0,32% d'infections profondes et 0,16% d'infections dites superficielles à propos de 10 626 ligamentoplasties premières (106). Une infection superficielle était attribuée à la procédure si elle s'était produite dans les 30 jours suivant la procédure et n'impliquait que la peau et le tissu sous-cutané de l'incision avec écoulement purulent, signes ou symptômes d'infection ou micro-organisme en culture sur le site. Un risque d'infection post-opératoire de 8,2 fois plus élevé a été observé après autogreffes de tendons ischio-jambiers par rapport aux autogreffes de tendon patellaire (106). Par contre il n'existe pas de données à notre connaissance concernant la greffe première au tendon quadricipital. Sur une analyse rétrospective de 1638 révisions de ligamentoplastie de Schuster et al, l'incidence de l'arthrite septique post-opératoire était plus faible après greffe du tendon du quadriceps (0,16%) par rapport aux greffes du tendon des ischio-jambiers (1,3%) (107).

Pour notre étude, il est donc difficile de conclure à l'infériorité de la révision au TQ dans la mesure où les complications infectieuses sont considérées comme rares (<2% (31)), alors que nous en rapportons 4% (2/50). Afin d'expliquer nos résultats, une sous déclaration des études méta-analysées est possible car le fait de faire saigner plusieurs fois une articulation par traumatisme et par chirurgie multiples expose à une augmentation du risque infectieux même si aucune étude à notre connaissance ne s'est attachée à démontrer cela en cas de reconstruction du LCA. Seulement, un taux deux fois plus fréquent d'infection post-opératoire avait été observé après reprise de ligamentoplastie, mais 80% des révisions étaient des allogreffes, deux fois plus que les ligamentoplasties de première intention (108).

Après exclusion des infections, complications graves mais rares, le taux de complications a été significativement plus petit après révision au TQ. En revanche, si on attribue le taux de complication du groupe TQ aux données manquantes, un taux de 40% (10/25) contre 56% aurait été présent (14/25).

Aucune re-rupture précoce de plastie n'a été rapportée dans notre étude, dans les 2 groupes. À un recul de 2 ans, Haner et al. n'ont pas non plus retrouvé de re-rupture sur les 51 révisions de ligamentoplastie suivies tandis que Hunnicutt et al. en ont déploré 11 sur 80 (13,7%) survenant à 2 ans en moyenne (98, 102). Pourtant, un taux d'échec considérablement élevé a été noté après la révision de la reconstruction du LCA d'après la méta-analyse de Wright et al, avec un taux près de trois à quatre fois le taux d'échec dans les séries prospectives de reconstructions primaires du LCA (13,7%) (57). La durée du suivi de < 1 an est l'explication principale de nos résultats, puisque les ruptures de plastie surviennent en moyenne 1,8 an après la chirurgie et sont favorisées par la reprise d'un sport pivot-contact (43). Les études précédentes sur les ligamentoplasties premières au TQ retrouvaient un taux de survie du greffon comparable avec les autres techniques (71, 103). Hogan et al. rapportaient un taux de révision de 5,1% après ligamentoplastie au TQ contre 7,5% après greffe au TP à 1 an de recul, sans différence significative (109). Par rapport à la technique aux ischio-jambiers, les greffes au TQ ont donné des taux similaires d'échec de greffe (9 à 11%), à 2 ans de suivi dans la cohorte danoise de Schmucker et al. (110).

Enfin, nos « bons » résultats, en ce qui concerne la révision au TQ sont peut-être en rapport avec la plastie extra-articulaire associée. Un meilleur résultat fonctionnel (IKDC) a été rapporté après ajout d'une ténodèse latérale avec un taux d'échec du greffon plus faible dans une méta-analyse sur 1049 patients (111). A contrario, un essai contrôlé randomisé à propos de 356 patients a montré que l'ajout d'une ténodèse extra-articulaire latérale à la reconstruction du LCA entraîne une légère augmentation de la douleur les 3 premiers mois et une légère réduction de la force du quadriceps et de la récupération fonctionnelle subjective jusqu'à 6 mois postopératoires (112). Ces différences étaient faibles et transitoires puisqu'aucune différence n'a été retrouvée à 12 et 24 mois. Le suivi à plus long terme donnera la réponse à notre hypothèse même si l'indication d'un tel renfort est actuellement toujours débattue.

4) Limites de l'étude

Un certain nombre de limites peuvent être décrites dans notre étude. Premièrement, l'analyse rétrospective de données qui avaient été recueillies de façon prospective a conduit à une perte d'informations importantes et donc de puissance de l'étude. De nombreuses données manquantes portaient notamment sur les scores fonctionnels Lysholm et Tegner au cours du suivi ainsi que la survenue de complications. Pour rattraper les données manquantes sur les complications, le devenir du patient et la reprise sportive, des entretiens téléphoniques ont été conduits, mais insuffisants pour les scores fonctionnels au cours du suivi.

Le caractère rétrospectif de l'étude ne permet pas de contrôler les nombreux perdus de vue à l'issue du premier test isocinétique, qui ne sont pas revenus réaliser les tests suivants au cours du suivi. Cela a conduit au faible nombre de patient ayant réalisé deux tests isocinétiques, limitant l'interprétation sur l'évolution de la récupération de force musculaire aux différents temps d'évaluation après chirurgie.

De plus, le design de l'étude cas-témoin avec appariement sur l'âge, le sexe et le poids a multiplié le nombre de tests isocinétiques non analysés et de patients non inclus. En effet, sur les 70 patients éligibles, 20 d'entre eux n'ont pas été analysés en raison des critères de non-inclusion. Parmi les 14 révisions au TP non inclus faute d'appariement sur les critères anthropométriques, le nombre de tests isocinétiques réalisés aurait été plus grand et les données manquantes moindres.

Néanmoins, 11 patients supplémentaires auraient été nécessaires pour un appariement 2 pour 1 afin d'augmenter la puissance de l'étude. Ces critères d'appariement ont donc peut-être été trop stricts. En effet, 6 patients TQ n'ont pas pu être appariés malgré les 39 patients TP disponibles pour l'appariement, principalement du fait d'âge et de poids extrêmes. Une perte de 28% des tests isocinétiques réalisés par les patients TQ est également à déplorer faute d'appariement pour les délais.

Une autre limite de notre étude est représentée par l'absence de connaissance du statut dégénératif des genoux opérés, pouvant influencer péjorativement la récupération de force musculaire et les scores fonctionnels. En effet, en cas de genou dégénératif constaté lors de la reprise de la ligamentoplastie, Hart et al ont mesuré une perte de force statique du quadriceps par électromyographie par rapport au côté sain (113).

Enfin, l'hétérogénéité des populations incluses dans les études antérieures rend difficile une généralisation des résultats. Pour exemple, l'âge moyen au moment de la révision était de 30 ans dans la méta-analyse de Wright, 34 et 36 ans dans les études de Barié et Haner et 22 ans dans l'étude de Hunnicutt, contre 28 ans dans notre présente étude (57, 98, 101, 102). De même, le délai entre les 2 chirurgies était de 8 ans et demi dans l'étude de Barié, 4 ans et demi dans la méta-analyse de Wright contre 6 ans dans notre population. La durée de suivi variait aussi de façon considérable entre les études, même si toutes avaient un suivi plus prolongé. Notre recul limité rend difficile l'interprétation sur les résultats à distance, notamment pour la reprise du sport, les re-ruptures de la révision et le devenir du genou à type de gonarthrose.

5) Forces de l'étude

Tout d'abord, il s'agit de la première étude comparant les révisions de ligamentoplastie du LCA première aux IJ par TQ ou par TP. Elle vient apporter de nouvelles données à celles existantes sur les révisions de ligamentoplastie au TQ pour lesquelles seulement 3 études sont disponibles dont une seule à propos de la récupération de la force isocinétique du genou.

De plus, l'appariement des patients de chaque groupe pour l'âge, le sexe et le poids a permis de contrôler l'influence de ces facteurs pronostics sur les résultats après ligamentoplastie.

Enfin, le nombre de 50 patients (25 paires) représente un chiffre assez conséquent eu égard au nombre de révisions réalisées chaque année par 2 chirurgiens différents ultra spécialisés dans la chirurgie du genou.

V. Conclusion

La récupération de force musculaire isocinétique des extenseurs et fléchisseurs au genou opéré semble comparable entre les révisions au tendon quadricipital et celles au tendon patellaire de ligamentoplasties premières aux ischio-jambiers, à 4-5 mois et 6-9 mois post-opératoires, après comparaison de deux populations appariées.

La révision au tendon quadricipital semble causer moins de morbidité au site donneur par rapport au traitement de référence avec des résultats fonctionnels jugés bons à excellents et comparables entre les deux techniques.

Nos résultats suggèrent l'utilisation du tendon quadricipital comme choix de greffe possible en révision de ligamentoplastie.

Une étude prospective longitudinale avec appariement sur le mode de rééducation et un suivi plus prolongé pourrait permettre de confirmer nos résultats.

VI. Références bibliographiques

1. Ehlinger M, Panisset JC, Dejour D, Gonzalez JF, Paihle R, Favreau H, et al. Ligamentoplastie du ligament croisé antérieur au-delà de 50 ans. Étude prospective comparative : traitement chirurgical versus traitement fonctionnel. *Rev Chir Orthopédique Traumatol.* 1 déc 2021;107(8, Supplement):S229-35.
2. Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Larson DR, Dahm DL, Levy BA, et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med.* juin 2016;44(6):1502-7.
3. Mall NA, Chalmers PN, Moric M, Tanaka MJ, Cole BJ, Bach BR, et al. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. *Am J Sports Med.* oct 2014;42(10):2363-70.
4. Lefevre N, Servien E, Colombet P, Cournapeau J, Dalmay F, Lutz C, et al. French prospective multicenter comparative assessment of ambulatory surgery feasibility in anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 1 déc 2016;102(8, Supplement):S257-63.
5. Herzog MM, Marshall SW, Lund JL, Pate V, Mack CD, Spang JT. Trends in Incidence of ACL Reconstruction and Concomitant Procedures Among Commercially Insured Individuals in the United States, 2002-2014. *Sports Health.* 2018;10(6):523-31.
6. Gornitzky AL, Lott A, Yellin JL, Fabricant PD, Lawrence JT, Ganley TJ. Sport-Specific Yearly Risk and Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears in High School Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* oct 2016;44(10):2716-23.
7. Beynon BD, Vacek PM, Newell MK, Tourville TW, Smith HC, Shultz SJ, et al. The Effects of Level of Competition, Sport, and Sex on the Incidence of First-Time Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med.* août 2014;42(8):1806-12.
8. Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: mechanisms and risk factors. *J Am Acad Orthop Surg.* sept 2010;18(9):520-7.
9. Dauty M, Crenn V, Louguet B, Grondin J, Menu P, Fouasson-Chailloux A. Anatomical and Neuromuscular Factors Associated to Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Clin Med.* 3 mars 2022;11(5):1402.
10. Flynn RK, Pedersen CL, Birmingham TB, Kirkley A, Jackowski D, Fowler PJ. The familial predisposition toward tearing the anterior cruciate ligament: a case control study. *Am J Sports Med.* janv 2005;33(1):23-8.
11. Tamalet B, Rochcongar P. Épidémiologie et prévention de la rupture du ligament croisé antérieur du genou. *Rev Rhum Monogr.* 1 avr 2016;83(2):103-7.
12. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000;8(3):141-50.

13. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Curr Sports Med Rep.* 2014;13(3):186-91.
14. Luc B, Gribble PA, Pietrosimone BG. Osteoarthritis prevalence following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and numbers-needed-to-treat analysis. *J Athl Train.* 2014;49(6):806-19.
15. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med.* oct 2007;35(10):1756-69.
16. Louboutin H, Debarge R, Richou J, Selmi TAS, Donell ST, Neyret P, et al. Osteoarthritis in patients with anterior cruciate ligament rupture: a review of risk factors. *The Knee.* août 2009;16(4):239-44.
17. Wang LJ, Zeng N, Yan ZP, Li JT, Ni GX. Post-traumatic osteoarthritis following ACL injury. *Arthritis Res Ther.* 2020;22:57.
18. Higuchi H, Shirakura K, Kimura M, Terauchi M, Shinozaki T, Watanabe H, et al. Changes in biochemical parameters after anterior cruciate ligament injury. *Int Orthop.* févr 2006;30(1):43-7.
19. Friel NA, Chu CR. The Role of ACL Injury in the Development of Posttraumatic Knee Osteoarthritis. *Clin Sports Med.* janv 2013;32(1):1-12.
20. Marks PH, Donaldson MLC. Inflammatory cytokine profiles associated with chondral damage in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* nov 2005;21(11):1342-7.
21. Meunier A, Odensten M, Good L. Résultats à long terme après une réparation primaire ou un traitement non chirurgical de la rupture du ligament croisé antérieur : une étude randomisée avec un suivi de 15 ans. *Scand J Med Sci Sports.* juin 2007;17(3):230-7.
22. Lie MM, Risberg MA, Storheim K, Engebretsen L, Øiestad BE. What's the rate of knee osteoarthritis 10 years after anterior cruciate ligament injury? An updated systematic review. *Br J Sports Med.* sept 2019;53(18):1162-7.
23. Andersson C, Odensten M, Good L, Gillquist J. Surgical or non-surgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament. A randomized study with long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* août 1989;71(7):965-74.
24. Kluczynski MA, Marzo JM, Bisson LJ. Factors associated with meniscal tears and chondral lesions in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study. *Am J Sports Med.* déc 2013;41(12):2759-65.
25. von Porat A, Roos EM, Roos H. High prevalence of osteoarthritis 14 years after an anterior cruciate ligament tear in male soccer players: a study of radiographic and patient relevant outcomes. *Ann Rheum Dis.* mars 2004;63(3):269-73.
26. Vaziri A, Nayeb-Hashemi H, Singh A, Tafti BA. Influence of meniscectomy and meniscus replacement on the stress distribution in human knee joint. *Ann Biomed Eng.* août 2008;36(8):1335-44.

27. Baawa-Ameyaw J, Plastow R, Begum FA, Kayani B, Jeddy H, Haddad F. Current concepts in graft selection for anterior cruciate ligament reconstruction. *EFORT Open Rev.* 14 sept 2021;6(9):808-15.
28. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med.* nov 2014;48(21):1543-52.
29. Wilde J, Bedi A, Altchek DW. Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Health.* nov 2014;6(6):504-18.
30. Spindler KP, Kuhn JE, Freedman KB, Matthews CE, Dittus RS, Harrell FE. Anterior cruciate ligament reconstruction autograft choice: bone-tendon-bone versus hamstring: does it really matter? A systematic review. *Am J Sports Med.* déc 2004;32(8):1986-95.
31. Palazzolo A, Rosso F, Bonasia DE, Saccia F, Rossi R. Uncommon Complications after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Joints.* 30 nov 2018;6(3):188-203.
32. Labruyère C, Rousseau R, Makridis K, Kajetanek C, Sanchez M, Deschamps O, et al. Complications à 2ans des ligamentoplasties du ligament croisé antérieur. Étude prospective mono-opérateur à propos de 811 cas. *Rev Chir Orthopédique Traumatol.* 1 nov 2016;102(7, Supplément):S139-40.
33. Louguet B. Association entre la perte de force des fléchisseurs du genou et les douleurs postéro-médiales du genou opéré d'une reconstruction du ligament croisé antérieur avec une technique utilisant les ischio-jambiers : mythe ou réalité ? - ScienceDirect [Internet]. 2023
34. Jackson DW, Schaefer RK. Cyclops syndrome: loss of extension following intra-articular anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 1990;6(3):171-8.
35. DeHaven KE, Cosgarea AJ, Sebastianelli WJ. Arthrofibrosis of the knee following ligament surgery. *Instr Course Lect.* 2003;52:369-81.
36. Shelbourne KD, Patel DV, Martini DJ. Classification and management of arthrofibrosis of the knee after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1996;24(6):857-62.
37. Dauty M, Menu P, Mesland O, Fouasson-Chailloux A. Arthrogenic muscle inhibition and return to sport after arthrofibrosis complicating anterior cruciate ligament surgery. *Eur J Sport Sci.* 2021;1.
38. Wang J, Ao Y. Analysis of different kinds of cyclops lesions with or without extension loss. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* juin 2009;25(6):626-31.
39. Paulos LE, Wnorowski DC, Greenwald AE. Infrapatellar contracture syndrome. Diagnosis, treatment, and long-term followup. *Am J Sports Med.* 1994;22(4):440-9.
40. Nadarajah V, Roach R, Ganta A, Alaia MJ, Shah MR. Primary anterior cruciate ligament reconstruction: perioperative considerations and complications. *Phys Sportsmed.* mai 2017;45(2):165-77.

41. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *Am J Sports Med.* juill 2014;42(7):1567-73.
42. Webster KE, Feller JA, Leigh WB, Richmond AK. Younger patients are at increased risk for graft rupture and contralateral injury after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* mars 2014;42(3):641-7.
43. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* juill 2016;44(7):1861-76.
44. Bourke HE, Salmon LJ, Waller A, Patterson V, Pinczewski LA. Survival of the anterior cruciate ligament graft and the contralateral ACL at a minimum of 15 years. *Am J Sports Med.* sept 2012;40(9):1985-92.
45. Laboute E, Savalli L, Puig P, Trouve P, Sabot G, Monnier G, et al. Analysis of return to competition and repeat rupture for 298 anterior cruciate ligament reconstructions with patellar or hamstring tendon autograft in sportspeople. *Ann Phys Rehabil Med.* déc 2010;53(10):598-614.
46. Leys T, Salmon L, Waller A, Linklater J, Pinczewski L. Clinical results and risk factors for reinjury 15 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts. *Am J Sports Med.* mars 2012;40(3):595-605.
47. Thompson SM, Salmon LJ, Waller A, Linklater J, Roe JP, Pinczewski LA. Résultat sur vingt ans d'une évaluation prospective longitudinale de la reconstruction du ligament croisé antérieur endoscopique isolé avec tendon rotulien ou autogreffe de ischio-jambier. *Am J Sports Med.* déc 2016;44(12):3083-94.
48. Shelbourne KD, Gray T, Haro M. Incidence of subsequent injury to either knee within 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Am J Sports Med.* févr 2009;37(2):246-51.
49. Tan SHS, Lau BPH, Khin LW, Lingaraj K. L'importance du sexe des patients dans les résultats des reconstructions du ligament croisé antérieur : un examen systématique et une méta-analyse. *Am J Sports Med.* janv 2016;44(1):242-54.
50. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* août 2005;21(8):948-57.
51. Beischer S, Gustavsson L, Senorski EH, Karlsson J, Thomeé C, Samuelsson K, et al. Les jeunes athlètes qui retournent au sport avant 9 mois après la reconstruction du ligament croisé antérieur ont un taux de nouvelles blessures 7 fois plus que ceux qui retardent le retour. *J Orthop Sports Phys Ther.* févr 2020;50(2):83-90.
52. MARS Group, Wright RW, Huston LJ, Spindler KP, Dunn WR, Haas AK, et al. Descriptive epidemiology of the Multicenter ACL Revision Study (MARS) cohort. *Am J Sports Med.* oct 2010;38(10):1979-86.

53. Magnussen RA, Trojani C, Granan LP, Neyret P, Colombet P, Engebretsen L, et al. Patient demographics and surgical characteristics in ACL revision: a comparison of French, Norwegian, and North American cohorts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. août 2015;23(8):2339-48.
54. Trojani C, Sbihi A, Djian P, Potel JF, Hulet C, Jouve F, et al. Causes for failure of ACL reconstruction and influence of meniscectomies after revision. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. févr 2011;19(2):196-201.
55. Chen JL, Allen CR, Stephens TE, Haas AK, Huston LJ, Wright RW, et al. Differences in Mechanisms of Failure, Intraoperative Findings, and Surgical Characteristics Between Single- and Multiple-Revision ACL Reconstructions. *Am J Sports Med*. juill 2013;41(7):10.1177/0363546513487980.
56. Lind M, Menhert F, Pedersen AB. Incidence and outcome after revision anterior cruciate ligament reconstruction: results from the Danish registry for knee ligament reconstructions. *Am J Sports Med*. juill 2012;40(7):1551-7.
57. Wright RW, Gill CS, Chen L, Brophy RH, Matava MJ, Smith MV, et al. Outcome of Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *J Bone Joint Surg Am*. 21 mars 2012;94(6):531-6.
58. Johnson WR, Makani A, Wall AJ, Hosseini A, Hampilos P, Li G, et al. Patient Outcomes and Predictors of Success After Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med*. 27 oct 2015;3(10):2325967115611660.
59. Ithurburn MP, Altenburger AR, Thomas S, Hewett TE, Paterno MV, Schmitt LC. Young athletes after ACL reconstruction with quadriceps strength asymmetry at the time of return-to-sport demonstrate decreased knee function 1 year later. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. févr 2018;26(2):426-33.
60. Dauty M, Tortellier L, Rochcongar P. Isokinetic and anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings or patella tendon graft: analysis of literature. *Int J Sports Med*. sept 2005;26(7):599-606.
61. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med*. juill 2016;50(13):804-8.
62. Schmitt LC, Paterno MV, Hewett TE. The Impact of Quadriceps Femoris Strength Asymmetry on Functional Performance at Return to Sport Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. sept 2012;42(9):750-9.
63. Dauty M, Tortelie L, Huguet D, Potiron-Josse M, Dubois C. [Consequences of pain on isokinetic performance after anterior cruciate ligament reconstruction using a semitendinosus and gracilis autograft]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. sept 2006;92(5):455-63.
64. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Dubois C. Muscular isokinetic strength recovery after knee anterior cruciate ligament reconstruction revision: preliminary study. *Ann Phys Rehabil Med*. févr 2014;57(1):55-65.

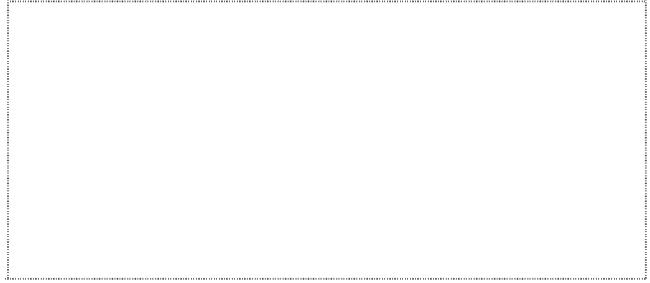
65. Combes P, Dauty M. Récupération de la force musculaire isocinétique après révisions de ligamentoplasties premières du ligament croisé antérieur du genou : une étude cas-témoins. 2020. Mémoire de DES de MPR.
66. Marshall JL, Warren RF, Wickiewicz TL, Reider B. The anterior cruciate ligament: a technique of repair and reconstruction. *Clin Orthop*. sept 1979;(143):97-106.
67. Yasuda K, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K. Quantitative evaluation of knee instability and muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar and quadriceps tendon. *Am J Sports Med*. août 1992;20(4):471-5.
68. Blauth W. [A new drill template for the operative treatment of injuries of the anterior cruciate ligament]. *Unfallheilkunde*. nov 1984;87(11):463-6.
69. Stäubli HU, Schatzmann L, Brunner P, Rincón L, Nolte LP. Quadriceps tendon and patellar ligament: Cryosectional anatomy and structural properties in young adults. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1 juin 1996;4(2):100-10.
70. Harris NL, Smith DA, Lamoreaux L, Purnell M. Central quadriceps tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: Morphometric and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med*. févr 1997;25(1):23-8.
71. Mouarbes D, Menetrey J, Marot V, Courtot L, Berard E, Cavaignac E. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes for Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone-Patellar Tendon-Bone and Hamstring-Tendon Autografts. *Am J Sports Med*. déc 2019;47(14):3531-40.
72. Slone HS, Romine SE, Premkumar A, Xerogeanes JW. Quadriceps tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: a comprehensive review of current literature and systematic review of clinical results. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. mars 2015;31(3):541-54.
73. Cavaignac E, Coulin B, Tscholl P, Nik Mohd Fatmy N, Duthon V, Menetrey J. Is Quadriceps Tendon Autograft a Better Choice Than Hamstring Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Comparative Study With a Mean Follow-up of 3.6 Years. *Am J Sports Med*. mai 2017;45(6):1326-32.
74. Chen CH, Chen WJ, Shih CH. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon-patellar bone autograft. *J Trauma*. avr 1999;46(4):678-82.
75. Han HS, Seong SC, Lee S, Lee MC. Anterior cruciate ligament reconstruction : quadriceps versus patellar autograft. *Clin Orthop*. janv 2008;466(1):198-204.
76. Pigozzi F, Di Salvo V, Parisi A, Giombini A, Fagnani F, Magini W, et al. Isokinetic evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction: quadriceps tendon versus patellar tendon. *J Sports Med Phys Fitness*. sept 2004;44(3):288-93.
77. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*. 27 nov 2013;310(20):2191-4.

78. Cohen D, Slawaska-Eng D, Almasri M, Sheean A, de Sa D. Quadriceps ACL Reconstruction Techniques and Outcomes: an Updated Scoping Review of the Quadriceps Tendon. *Curr Rev Musculoskelet Med.* déc 2021;14(6):462-74.
79. Patel H, Lala S, Helfner B, Wong TT. Tennis overuse injuries in the upper extremity. *Skeletal Radiol.* avr 2021;50(4):629-44.
80. K.D. Shelbourne, P. Nitz. *J Orthop Sports Phys Ther*, 15 (6) (1992), pp. 256-264. [cité 28 mai 2023]. Réhabilitation accélérée après reconstruction du ligament croisé antérieur.
81. MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, Huebert D. Effects of an accelerated rehabilitation program after anterior cruciate ligament reconstruction with combined semitendinosus-gracilis autograft and a ligament augmentation device. *Am J Sports Med.* 1995;23(5):588-92.
82. Dauty M, Huguet D, Tortellier L, Potiron-Josse M, Dubois C. [Retraining between months 4 and 6 after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring graft: comparison between cycling and running with an untrained operated subject group]. *Ann Readaptation Med Phys Rev Sci Soc Francaise Reeducation Fonct Readaptation Med Phys.* juin 2006;49(5):218-25.
83. Dauty M, Edouard P, Menu P, Mesland O, Fouasson-Chailloux A. Isokinetic quadriceps symmetry helps in the decision to return to running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Ann Phys Rehabil Med.* juin 2022;65(4):101543.
84. Dauty M, Menu P, Dubois C. Effects of running retraining after knee anterior cruciate ligament reconstruction. *Ann Phys Rehabil Med.* avr 2010;53(3):150-61.
85. Kannus P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med.* janv 1994;15 Suppl 1:S11-18.
86. Impellizzeri FM, Bizzini M, Rampinini E, Cereda F, Maffiuletti NA. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging.* mars 2008;28(2):113-9.
87. Undheim MB, Cosgrave C, King E, Strike S, Marshall B, Falvey É, et al. Isokinetic muscle strength and readiness to return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction: is there an association? A systematic review and a protocol recommendation. *Br J Sports Med.* oct 2015;49(20):1305-10.
88. Drigny J, Ferrandez C, Gauthier A, Guermont H, Praz C, Reboursière E, et al. Knee strength symmetry at 4 months is associated with criteria and rates of return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Ann Phys Rehabil Med.* juin 2022;65(4):101646.
89. Baltzopoulos V, Brodie DA. Isokinetic dynamometry. Applications and limitations. *Sports Med Auckl NZ.* août 1989;8(2):101-16.
90. Birchmeier T, Lisee C, Geers B, Kuenze C. Reactive Strength Index and Knee Extension Strength Characteristics Are Predictive of Single-Leg Hop Performance After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Strength Cond Res.* mai 2019;33(5):1201-7.

91. Barber SD, Noyes FR, Mangine RE, McCloskey JW, Hartman W. Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. *Clin Orthop*. juin 1990;(255):204-14.
92. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *Am J Sports Med*. mars 2011;39(3):538-43.
93. Reid A, Birmingham TB, Stratford PW, Alcock GK, Giffin JR. Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther*. mars 2007;87(3):337-49.
94. Vassis K, Kanellopoulos A, Ioannis M, Trigkas P, Spanos S, Poulis I. Knee isokinetic test scores and functional hop tests findings: Are they related? *Isokinet Exerc Sci*. 25 mars 2020;28:231-8.
95. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop*. sept 1985;(198):43-9.
96. Tegner Y, Lysholm J, Odensten M, Gillquist J. Evaluation of cruciate ligament injuries. A review. *Acta Orthop Scand*. juin 1988;59(3):336-41.
97. Chaory et al. coek.info. 2004 [cité 2 avr 2021]. Les grilles d'évaluations dans la ligamentoplastie du LCA. Disponible sur: <https://coek.info/pdf-les-grilles-dx27evaluations-dans-la-ligamentoplastie-du-lca-.html>
98. Hunnicutt JL, Haynes WB, Slone HS, Prince JA, Boden SA, Xerogeanes JW. Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with the All-Soft Tissue Quadriceps Tendon Autograft Has Acceptable Early and Intermediate-Term Outcomes. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. sept 2021;37(9):2848-57.
99. Johnston PT, McClelland JA, Feller JA, Webster KE. Knee muscle strength after quadriceps tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction: systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. sept 2021;29(9):2918-33.
100. Herbawi F, Lozano-Lozano M, Lopez-Garzon M, Postigo-Martin P, Ortiz-Comino L, Martin-Alguacil JL, et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Strength Recovery Measured by Isokinetic Dynamometer Technology after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Quadriceps Tendon Autografts vs. Hamstring Tendon Autografts or Patellar Tendon Autografts. *Int J Environ Res Public Health*. 1 juin 2022;19(11):6764.
101. Barié A, Ehmann Y, Jaber A, Huber J, Streich NA. Revision ACL reconstruction using quadriceps or hamstring autografts leads to similar results after 4 years: good objective stability but low rate of return to pre-injury sport level. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. nov 2019;27(11):3527-35.
102. Häner M, Bierke S, Petersen W. Anterior Cruciate Ligament Revision Surgery: Ipsilateral Quadriceps Versus Contralateral Semitendinosus-Gracilis Autografts. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. nov 2016;32(11):2308-17.

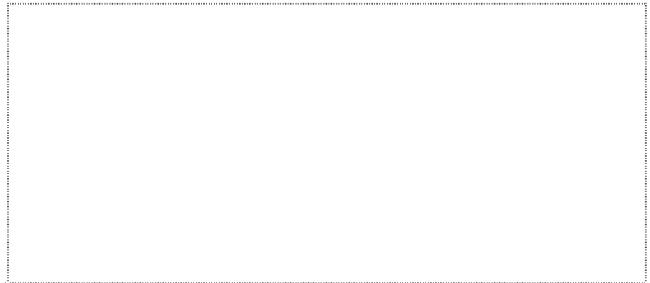
103. Dai W, Leng X, Wang J, Cheng J, Hu X, Ao Y. Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone-Patellar Tendon-Bone and Hamstring Tendon Autografts for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 8 sept 2021;3635465211030259.
104. Hurley ET, Calvo-Gurry M, Withers D, Farrington SK, Moran R, Moran CJ. Quadriceps Tendon Autograft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* mai 2018;34(5):1690-8.
105. Lind M, Nielsen TG, Soerensen OG, Mygind-Klavsen B, Faunø P. Quadriceps tendon grafts does not cause patients to have inferior subjective outcome after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction than do hamstring grafts: a 2-year prospective randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* févr 2020;54(3):183-7.
106. Maletis GB, Inacio MCS, Reynolds S, Desmond JL, Maletis MM, Funahashi TT. Incidence of postoperative anterior cruciate ligament reconstruction infections: graft choice makes a difference. *Am J Sports Med.* août 2013;41(8):1780-5.
107. Schuster P, Schlumberger M, Mayer P, Raoulis VA, Oremek D, Eichinger M, et al. Lower incidence of post-operative septic arthritis following revision anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon compared to hamstring tendons. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* août 2020;28(8):2572-7.
108. Maletis GB, Inacio MCS, Funahashi TT. Analysis of 16,192 anterior cruciate ligament reconstructions from a community-based registry. *Am J Sports Med.* sept 2013;41(9):2090-8.
109. Hogan DW, Burch MB, Rund JM, Geeslin DW, Ma R, Gray AF, et al. No Difference in Complication Rates or Patient-Reported Outcomes Between Bone-Patella Tendon-Bone and Quadriceps Tendon Autograft for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* avr 2022;4(2):e417-24.
110. Schmäcker M, Haraszuk J, Hölmich P, Barfod KW. Graft Failure, Revision ACLR, and Reoperation Rates After ACLR With Quadriceps Tendon Versus Hamstring Tendon Autografts: A Registry Study With Review of 475 Patients. *Am J Sports Med.* juill 2021;49(8):2136-43.
111. Aryana IG, Subawa IW, Dusak IWS, Dharmayuda CGO, Nugraha HK, Deslivia MF. Functional Outcome of Lateral Extraarticular Tenodesis (LET) Procedure in Addition to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Metaanalysis. *Rev Bras Ortop.* 21 janv 2022;57(1):33-40.
112. Getgood A, Hewison C, Bryant D, Litchfield R, Heard M, Buchko G, et al. No Difference in Functional Outcomes When Lateral Extra-Articular Tenodesis Is Added to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Young Active Patients: The Stability Study. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* 1 juin 2020;36(6):1690-701.
113. Hart JM, Turman KA, Diduch DR, Hart JA, Miller MD. Quadriceps muscle activation and radiographic osteoarthritis following ACL revision. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* avr 2011;19(4):634-40.

Vu, le Président du Jury,
(tampon et signature)



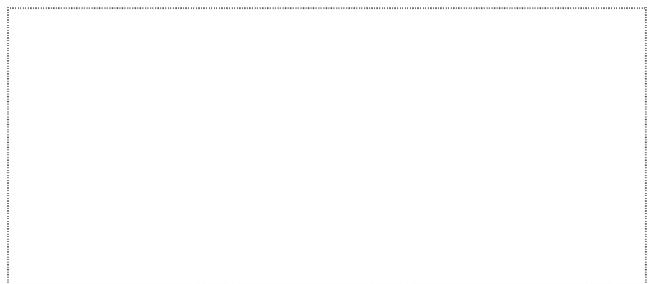
Pr Raphaël GROSS

Vu, le Directeur de Thèse,
(tampon et signature)



Dr Marc DAUTY

Vu, le Doyen de la Faculté,



Professeur Pascale JOLLIET

NOM : LECLER

PRÉNOM : Andy

Titre de Thèse : **Récupération de la force musculaire en isocinétisme après révision de ligamentoplastie par prélèvement au tendon quadricipital comparé à la technique au tendon patellaire**

RÉSUMÉ

Une re-rupture du ligament croisé antérieur peut survenir après ligamentoplastie. La greffe du tendon quadricipital a montré de bons résultats mais peu étudiée en tant que technique de révision. Ce travail présente les résultats d'une étude rétrospective menée sur 2 centres incluant 25 patients, opérés d'une révision au tendon quadricipital de ligamentoplasties premières aux ischio-jambiers, comparés à 25 patients appariés, révisés par la technique au tendon patellaire, traitement de référence. La récupération de la force des muscles de la cuisse au genou opéré, mesurée en isocinétique, est comparable entre les deux techniques à 4-5 mois et 6-9 mois post-opératoires. La révision au tendon quadricipital semble causer moins de morbidité au site donneur avec des résultats fonctionnels excellents et comparables.

MOTS-CLÉS

Isocinétisme ; ligament croisé antérieur ; révision ligamentoplastie ; genou ; tendon quadricipital ; force