

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉS DE MÉDECINE

ANNÉE 2022

2022 TOU3 1710

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE
MÉDECINE SPÉCIALISÉE CLINIQUE

Présentée et soutenue publiquement

par

Nicolas VARI

le 26 Octobre 2022

EVALUATION DES GREFFONS AUX ISCHIO-JAMBIERS
PEDICULES DANS LA RECONSTRUCTION DU LIGAMENT CROISE
ANTERIEUR

Directeur de thèse : Pr Etienne CAVAIGNAC

JURY

Monsieur le Professeur	Pierre MANSAT	Président
Monsieur le Professeur	Franck ACCADBLED	Assesseur
Monsieur le Professeur	Nicolas REINA	Assesseur
Monsieur le Professeur	Etienne CAVAIGNAC	Assesseur
Monsieur le Docteur	Vincent MAROT	Suppléant

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux
Tableau des personnels HU de médecine
Mars 2022

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. GHISOLFI Jacques
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	Professeur Honoraire	M. GLOCK Yves
Doyen Honoraire	M. LAZORTHES Yves	Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre	Professeur Honoraire	M. GRAND Alain
Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel	Professeur Honoraire	M. GUIRAUD CHAUMEIL Bernard
Doyen Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. HOFF Jean
Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel	Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis
Professeur Honoraire	M. ADER Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
Professeur Honoraire	M. ADOUE Daniel	Professeur Honoraire	M. LANG Thierry
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis	Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche
Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe	Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy
Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth	Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Franck
Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Yves
Professeur Honoraire	M. BARRET André	Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis	Professeur Honoraire	M. MALECAZE François
Professeur Honoraire	M. BLANCHER Antoine	Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri	Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Professeur Honoraire	M. BONAFÉ Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. MARCHOU Bruno
Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard	Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
Professeur Honoraire	M. BONNEVILLE Paul	Professeur Honoraire	Mme MARTY Nicole
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck	Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire Associé	M. BROS Bernard	Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire	M. BUGAT Roland	Professeur Honoraire	M. MURAT
Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe	Professeur Honoraire associé	M. NICODEME Robert
Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude	Professeur Honoraire	M. OLIVES Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre	Professeur Honoraire	M. PARINAUD Jean
Professeur Honoraire	M. CARON Philippe	Professeur Honoraire	M. PASCAL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. PERRET Bertrand
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel	Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard	Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire	M. CHABANON Gérard	Professeur Honoraire	M. PONTONNIER Georges
Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard	Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques
Professeur Honoraire	M. CLANET Michel	Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline
Professeur Honoraire	M. CONTE Jean	Professeur Honoraire	M. PUEL Pierre
Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel	Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean	Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri	Professeur Honoraire	M. RAILHAC Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. DAHAN Marcel	Professeur Honoraire	M. REGIS Henri
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine	Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude
Professeur Honoraire	M. DALY-SCHVEITZER Nicolas	Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric	Professeur Honoraire	M. RISCHMANN Pascal
Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges	Professeur Honoraire	M. RIVIERE Daniel
Professeur Honoraire	Mme DELISLE Marie-Bernadette	Professeur Honoraire	M. ROCHE Henri
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline	Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean	Professeur Honoraire	M. ROLLAND Michel
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel	Professeur Honoraire	M. ROQUES-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.	Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique	Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel
Professeur Honoraire Associé	M. DUTAU Guy	Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE Henri	Professeur Honoraire	M. SARRAMON Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean	Professeur Honoraire	M. SERRE Guy
Professeur Honoraire	M. ESQUERRE J.P.	Professeur Honoraire	M. SIMON Jacques
Professeur Honoraire	M. FABIE Michel	Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard	Professeur Honoraire	M. TREMOULET Michel
Professeur Honoraire	M. FOURNIE Bernard	Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre
Professeur Honoraire	M. FOURTANIER Gilles	Professeur Honoraire	M. VAYASSE Philippe
Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard	Professeur Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle	Professeur Honoraire	M. VOIGT Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles		

Professeurs Emérites

Professeur ARLET Philippe
 Professeur BOUTAULT Franck
 Professeur CARON Philippe
 Professeur CHAMONTIN Bernard
 Professeur CHAP Hugues
 Professeur GRAND Alain
 Professeur LAGARRIGUE Jacques
 Professeur LAURENT Guy
 Professeur LAZORTHES Yves
 Professeur MAGNAVAL Jean-François
 Professeur MARCHOU Bruno
 Professeur PERRET Bertrand
 Professeur RISCHMANN Pascal
 Professeur RIVIERE Daniel
 Professeur ROUGE Daniel

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux

P.U. - P.H.
Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. ACAR Philippe	Pédiatrie	Mme LAMANT Laurence (C.E)	Anatomie Pathologique
M. ACCADBLE Franck (C.E)	Chirurgie Infantile	M. LANGIN Dominique (C.E)	Nutrition
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne	Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie
M. AMAR Jacques	Thérapeutique	M. LARRUE Vincent	Neurologie
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie, Santé publique	M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine d'Urgence
M. ARBUS Christophe	Psychiatrie	M. LAUWERS Frédéric	Chirurgie maxillo-faciale
M. ARNAL Jean-François (C.E)	Physiologie	M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie	M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie
M. AVET-LOISEAU Hervé	Hématologie, transfusion	M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie
M. BERRY Antoine	Parasitologie	M. MALAUAUD Bernard	Urologie
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie	M. MARQUE Philippe (C.E)	Médecine Physique et Réadaptation
M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie	M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. BOSSAVY Jean-Pierre (C.E)	Chirurgie Vasculaire	M. MAURY Jean-Philippe (C.E)	Cardiologie
M. BRASSAT David	Neurologie	Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie
M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul	M. MAZIERES Julien (C.E)	Pneumologie
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique	M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie	M. MOLINIER Laurent (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique
Mme BURA-RIVIERE Alessandra (C.E)	Médecine Vasculaire	M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie
M. BUREAU Christophe	Hépatogastro-entérologie	Mme MOYAL Elisabeth (C.E)	Cancérologie
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépatogastro-entérologie	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. CALVAS Patrick (C.E)	Génétique	Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale	M. OSWALD Eric (C.E)	Bactériologie-Virologie
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie	M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
M. CHAIX Yves	Pédiatrie	M. PAUL Carle (C.E)	Dermatologie
Mme CHARPENTIER Sandrine	Médecine d'urgence	M. PAYOUX Pierre (C.E)	Biophysique
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire	M. PAYRASTRE Bernard (C.E)	Hématologie
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie	M. PERON Jean-Marie (C.E)	Hépatogastro-entérologie
M. CHAYNES Patrick	Anatomie	M. RASCOL Olivier (C.E)	Pharmacologie
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chir. Orthopédique et Traumatologie	Mme RAUZY Odile	Médecine Interne
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie	M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. RECHER Christian(C.E)	Hématologie
M. COURBON Frédéric	Biophysique	M. RITZ Patrick (C.E)	Nutrition
Mme COURTADE SAIDI Monique (C.E)	Histologie Embryologie	M. ROLLAND Yves (C.E)	Gériatrie
M. DAMBRIN Camille	Chir. Thoracique et Cardiovasculaire	M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.	M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale
M. DEGUINE Olivier (C.E)	Oto-rhino-laryngologie	M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie
M. DELABESSE Eric	Hématologie	M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses	M. SAILLER Laurent (C.E)	Médecine Interne
M. DELORD Jean-Pierre (C.E)	Cancérologie	M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E)	Chirurgie Infantile
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie	M. SALLES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie	M. SANS Nicolas	Radiologie
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice (C.E)	Thérapeutique	M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	Mme SELVES Janick (C.E)	Anatomie et cytologie pathologiques
M. FERRIERES Jean (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique	M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie	M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. FOURNIÉ Pierre	Ophthalmologie	M. SIZUN Jacques (C.E)	Pédiatrie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie	M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. GAME Xavier	Urologie	Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie, Santé publique	M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation	M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie
Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique	M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive
M. GOURDY Pierre (C.E)	Endocrinologie	Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis (C.E)	Chirurgie plastique	M. TELMON Norbert (C.E)	Médecine Légale
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie	Mme TREMOLLIERES Florence	Biologie du développement
Mme HANAIRE Hélène (C.E)	Endocrinologie	Mme URO-COSTE Emmanuelle (C.E)	Anatomie Pathologique
M. HUYGHE Eric	Urologie	M. VAYSSIERE Christophe (C.E)	Gynécologie Obstétrique
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie
M. KAMAR Nassim (C.E)	Néphrologie	M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie

P.U. Médecine générale
M. OUSTRIC Stéphane (C.E)

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux

MCU - PH

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène	Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
M. APOIL Pol Andre	Immunologie	Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie	Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme AUSSEIL-TRUDEL Stéphanie	Biochimie	M. GUERBY Paul	Gynécologie-Obstétrique
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie	Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
Mme BELLIERES-FABRE Julie	Néphrologie	Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion	M. HAMDJ Safouane	Biochimie
M. BIETH Eric	Génétique	Mme HITZEL Anne	Biophysique
Mme BREHIN Camille	Pneumologie	Mme INGUENEAU Cécile	Biochimie
M. BUSCAIL Etienne	Chirurgie viscérale et digestive	M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire	Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire
M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie	M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie	Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie	M. LEPAGE Benoit	Biostatistiques et Informatique médicale
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition	M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
Mme CASSAGNE Myriam	Ophthalmologie	M. LHOMME Sébastien	Bactériologie-virologie
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie	Mme MASSIP Clémence	Bactériologie-virologie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique	Mme MAUPAS SCHWALM Françoise	Biochimie
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie	Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition
M. CHASSAING Nicolas	Génétique	M. MONTASTRUC François	Pharmacologie
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire	Mme MOREAU Jessika	Biologie du dév. Et de la reproduction
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques	Mme MOREAU Marion	Physiologie
M. CONGY Nicolas	Immunologie	M. MOULIS Guillaume	Médecine interne
Mme COURBON Christine	Pharmacologie	Mme NASR Nathalie	Neurologie
M. CUROT Jonathan	Neurologie	Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie	Mme PERROT Aurore	Hématologie
Mme DE GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie	M. PILLARD Fabien	Physiologie
M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale	Mme PLAISANCIE Julie	Génétique
M. DEGBOE Yannick	Rhumatologie	Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
M. DELMAS Clément	Cardiologie	Mme QUELVEN Isabelle	Biophysique et médecine nucléaire
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale	Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie	M. REVET Alexis	Pédo-psychiatrie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène	M. RIMAILHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail	Mme SABOURDY Frédérique	Biochimie
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie	Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie	Mme SIEGFRIED Aurore	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme FLOCH Pauline	Bactériologie-Virologie	M. TAFANI Jean-André	Biophysique
Mme GALINIER Anne	Nutrition	M. TREINER Emmanuel	Immunologie
Mme GALLINI Adeline	Epidémiologie	Mme VALLET Marion	Physiologie
M. GANTET Pierre	Biophysique	M. VERGEZ François	Hématologie
M. GASQ David	Physiologie	Mme VIJA Lavinia	Biophysique et médecine nucléaire
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction		

M.C.U. Médecine générale

M. BISMUTH Michel
M. BRILLAC Thierry
Mme DUPOUY Julie
M. ESCOURROU Emile

Maîtres de Conférence Associés

M.C.A. Médecine Générale

M. BIREBENT Jordan
Mme BOUSSIER Nathalie
Mme FREYENS Anne
Mme LATROUS Leila
Mme PUECH Marielle

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux

P.U. - P.H. 2ème classe	Professeurs Associés
M. ABBO Olivier	Chirurgie infantile
M. AUSSEIL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire
Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie, Santé publique
M. BONNEVILLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
M. CAVAGNAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique
M. COGNARD Christophe	Radiologie
Mme CORRE Jill	Hématologie
Mme DALENC Florence	Cancérologie
M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie
M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
Mme FARUCH BILFELD Marie	Radiologie et imagerie médicale
M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. GARRIDO-STÓWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. GUIBERT Nicolas	Pneumologie
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. LAROCHE Michel	Rhumatologie
Mme LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
M. LE CAIGNEC Cédric	Génétique
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LOPEZ Raphael	Anatomie
M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. MARTIN-BLONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales
Mme MARTINEZ Alejandra	Gynécologie
M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. PAGES Jean-Christophe	Biologie cellulaire
Mme PASQUET Marlène	Pédiatrie
M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. PUGNET Grégory	Médecine interne
M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. RENAUDINEAU Yves	Immunologie
Mme RUYSSSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie
Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. SAVALL Frédéric	Médecine légale
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation
M. SOLER Vincent	Ophthalmologie
Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
M. TACK Ivan	Physiologie
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie
M. YRONDI Antoine	Psychiatrie
M. YSEBAERT Loic	Hématologie
P.U. Médecine générale	Professeur Associé de Médecine Générale
M. MESTHÉ Pierre	M. ABITTEBOUL Yves
Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve	Mme BOURGEOIS Odile
	M. BOYER Pierre
	M. CHICOULAA Bruno
	Mme IRI-DELAHAYE Motoko
	M. PIPONNIER David
	M. POUTRAIN Jean-Christophe
	M. STILLMUNKES André
	Professeur Associé de Bactériologie-Hygiène
	Mme MALAVALD Sandra

Serment d'Hippocrate

«Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leur raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.»

A notre Maître et Président du Jury
Monsieur le Professeur Pierre MANSAT

*Professeur des Universités et Praticien Hospitalier de Chirurgie
Orthopédique et Traumatologique*

Je vous suis reconnaissant de me faire l'honneur de présider mon jury de thèse. Vous nous transmettez au quotidien votre passion et votre savoir chirurgical et pour cela je vous en remercie. Je vous remercie également de m'avoir accueilli dans votre belle école toulousaine.

Veillez trouver, en ce travail, l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

**A notre Maître et Directeur de Thèse
Monsieur le Professeur Etienne CAVIGNAC**

*Professeur des Universités et Praticien Hospitalier de Chirurgie
Orthopédique et Traumatologique*

Je suis honoré de ce travail que tu m'as confié en début d'internat et qui touche aujourd'hui à son but. Tu m'as pris sous ton aile et pour cela je t'en serai éternellement reconnaissant. Ton implication et ton travail au quotidien sans égal forcent l'admiration. Je suis chanceux de pouvoir apprendre la chirurgie à tes côtés. Merci pour toute la gentillesse, la bienveillance et la générosité dont tu fais preuve à mon égard.

Trouve en ce travail, l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.

A notre Maître et Membre du Jury
Monsieur le Professeur Franck ACCADBLE

*Professeur des Universités et Praticien Hospitalier de Chirurgie
Infantile*

Tu me fais l'honneur de siéger dans mon jury de thèse et je t'en remercie. Je suis honoré d'avoir pu apprendre à tes côtés. Tes qualités chirurgicales sont impressionnantes et c'est une chance pour nous de pouvoir en profiter.

Trouve en ce travail, l'expression de mon estime et de mon profond respect.

A notre Maître et Membre du Jury
Monsieur le Professeur Nicolas REINA

*Professeur des Universités et Praticien Hospitalier de Chirurgie
Orthopédique et Traumatologique*

Vous me faites l'honneur de juger ma thèse et je vous en remercie. Votre état d'esprit et vos compétences chirurgicales forcent le respect. Vous m'avez transmis une passion certaine pour la chirurgie de la hanche et du bassin. J'ai hâte de pouvoir apprendre à vos côtés.

Veillez trouver, en ce travail, l'expression de mon admiration et de mon profond respect.

**A notre Maître et Membre du Jury
Monsieur le Docteur Vincent MAROT**

Chirurgien Orthopédiste et Traumatologue

Je suis heureux que tu fasses parti de ce jury et je t'en remercie. Ta gentillesse, ton implication, ton aisance chirurgicale et tes qualités humaines sont un exemple pour tous. Je n'ai pas eu la chance d'être ton interne mais tu m'as toujours encadré et aidé. Si ce travail a abouti aujourd'hui c'est en grande partie grâce à toi.

Trouve en ce travail, l'expression de ma reconnaissance et de mon admiration.

A mes maitres, mes chefs et co-internes

Pr P. Bonneville, merci pour votre gentillesse et votre apprentissage, votre dévotion pour ce service est incroyable, vous allez nous manquer

Pr P. Chiron, un excellent professeur, une élégance chirurgicale sans égale, j'ai beaucoup appris à vos côtés, votre envie de transmettre à vos internes va nous manquer

Pr N. Bonneville, votre sérieux et vos exigences nous stimulent au quotidien

Dr Chaminade, merci pour vos précieux conseils tout au long de notre formation

David, merci de m'avoir fait découvrir la chirurgie du pied, ta gentillesse et ta pédagogie sont un plaisir, j'ai beaucoup aimé être ton interne

Stéphanie, merci de m'avoir laissé opérer mes premiers poignets

Dr C. Apredoaei, « on dirait décathlon »

Gauthier, un très bon chirurgien

Florence, une vraie exigence envers tous les internes qui nous pousse vers le haut, un grand merci pour ma clavicule

Pierre, merci pour toutes ces punchlines bien senties, j'espère que tu t'éclates à Bordeaux

Louis, j'ai eu la chance de pouvoir être ton interne, une bonne humeur communicative et un grand talent chirurgical, merci pour tout ce que tu m'as transmis et pour les séances de muscu dans mon planning d'interne, j'ai hâte que tu reviennes

Thomas, au plaisir d'avoir découvert le microscope avec toi

Arthur, merci pour ces virées au Mcdo qui égayent mes gardes à l'URM, tu aimes transmettre aux internes et c'est un plaisir de travailler à tes côtés

Mathieu, une brute de connaissances et de technicité, ton travail est exemplaire et j'ai beaucoup appris à tes côtés, tu ne recules devant aucun obstacle et tu m'as transmis cette vision des choses, j'espère te croiser plus souvent sur les terrains

Enrique, toujours un petit bol de céréales à l'internat avant de commencer la journée

Rémi, merci pour tout, une patience à toute épreuve, une gentillesse extrême, un coach Viewer hors pair, j'ai appris à opérer à tes côtés et pour ça je t'en remercie beaucoup, ces petits déj obligatoires me manquent énormément

Marie, à présent tu es dans la plus belle ville du monde

Arnault, « mon blet », « qu'est ce qui dit ? », « une ptite mousse ? », pilier du Black Lion et du Gogo Flamingo, merci d'être toi, on aura été ensemble dans le sac et ça ne s'oublie pas, une solidité à toute épreuve qui t'a mené là où tu en es aujourd'hui

Boris, très bon enseignant, un plaisir d'avoir pu bosser avec toi

Juliette, bonne humeur et rires au quotidien

Thibaut, merci pour ces entrées fracassantes au staff : en retard, en renflant et caleçon apparent

Hugo, « bijour », ta bonne humeur est communicative, je regrette de ne pas être là pour ton retour

Timothée, un bel accueil lors de mon arrivée, je regrette de ne pas avoir pu passer de semestre avec toi

Yoann, le « parfait », tu as initié une lignée de niçois-toulousains, merci pour tout ce que tu fais pour nous

Suzanne, mère-fouettarde, toujours partante pour pirater une boîte mail, merci d'avoir réinstauré les COGIT, amuse-toi bien au soleil pendant 1 an

Maxime Teulieres, tes punchlines nous régaleront, je rêverais que tu nous représentes un staff du matin

Maxime Testory, la force tranquille, un vrai plaisir de bosser avec toi, tu m'as montré comment fonctionnait le PPR à mon arrivée et pour cela je t'en remercie

Joris, de cette équipe des pirates noirs au WEI à un internat de chirurgie orthopédique, nos chemins se sont suivis et j'ai marché sur tes traces, je regrette de ne pas avoir pu passer plus de semestres à tes côtés

Corentin, monsieur nature, toujours de bonne humeur et toujours partant pour un petit Ricard, j'ai trouvé un acolyte pour la suite, vivement que l'on se retrouve au PPR

Joana G, les urgentistes n'ont qu'à bien se tenir !

Emilie, « ouais mon blet », tu m'as accueilli parmi les internes toulousains comme personne, un vrai grand cœur, une vraie partenaire dans les conneries, membre officiel de la team mauvaise idée, il était temps que tu rentres à Toulouse

Déborah, team débauche, dommage que tu nous aies quitté pour la cardio

Victor, un soldat tombé trop tôt, je suis heureux d'avoir passé un semestre avec toi, on aura bien rigolé

Joana P, la dernière rescapée de la promo, je reviendrai faire du ballon avec Augustin avec grand plaisir

Cerise, la chtimi du groupe, ton sérieux et ton travail seront récompensés

Ophélie, un calme à toute épreuve, bienvenue dans la sac

François, « oh mon salop », un mec en or, partenaire de galères, j'espère qu'à l'avenir on réussira à trouver un weekend où ni toi ni moi nous sommes de garde, quoique ça risque d'être dangereux pour nous

Bastien, un autre soldat tombé trop tôt

Dorian, Dodo la saumure, prédateur hors pair

Kenza, gentillesse et sourire constants

Tamia, tu vas réussir à devenir plus « dure », ça viendra avec le temps tu verras

Alexandre, je te souhaite plus de bonheur en orthopédie qu'avec le PSG

Merci aux plasticiens qui permettent à tous nos patients de ne pas finir amputés.

Mohcine, toujours une petite blague, et surtout toujours la classe. **Greg**, devenu le grand spécialiste de l'ostéosynthèse du poignet. **Benjamin**, merci pour toutes ces blagues à chaque fois que tu viens nous voir.

Sans oublier **tous les interCHU** sans qui nos semestres seraient beaucoup moins drôles. Une pensée particulière pour **Laure**, merci d'avoir supporté mes plaintes pendant 6 mois et plus maintenant, merci pour tous ces Nutella biscuit qui ont égayé ces débuts de gardes.

Merci **Émile** pour cette cuite masterclass en fin de semestre, RIP ta pauvre cheville.

Une petite pensée pour toi **Rémy**, qui à l'heure actuelle est enfin sorti de cette galère que l'on a partagé, est ce qu'on fêterait pas ça autour d'une bonne viande ?

Et le meilleur pour la fin **Thomas**, un vrai bonheur d'avoir pu partager cette année avec toi, tu avais failli me convaincre de rester au pays mais c'est à Toulouse qu'on s'est retrouvé, à toutes ces raquettes de squash qui ne sont pas passées loin de la correctionnelle, à tous ces vendredis au bloc où on savait plus comment on s'appelait, à mon premier croisé où tu m'as drivé... Merci pour tout

Aux albigeois

Dr P. Cariven, vous m'avez fait connaître les premières journées prothèses et je suis tombé dedans, merci de m'avoir transmis cette passion

Dr F. Marty, une rigueur et des connaissances en pagaille, merci de m'avoir aiguillé sur le bon chemin

Dr R. Toulze, merci pour ton accueil dans le service albigeois, j'ai beaucoup apprécié travailler avec toi

Charlotte, 1^{ère} cheffe, merci de m'avoir introduit dans le service à Albi, de m'avoir appris à bien faire des plâtres, pour ces beaux grands écarts et d'avoir supporté toutes nos blagues pendant le semestre de pédiatrie

Aux pédiatres

Pr J. Sales De Gauzy, grâce à vous j'ai pu être proclamé « rachiologue » par mes cointernes de pédiatrie

Dr A. Abid, d'une grande gentillesse avec vos internes, un plaisir d'avoir travaillé avec vous

Dr M. Ursei, un plaisir de toujours faire « l'autre côté »

Dr P. Darodes, « à ces âges-là, ils vont toujours bien »

Dr C. Thévenin-Lemoine, on bosse la nuit, mais on n'est pas déçu

Manon, merci d'avoir élevé le groupe de singe de la porte d'en face, tes qualités d'enseignante sont indéniables, je te remercie d'avoir organisé toutes ces sorties scolaires

Sans oublier **tout le personnel du bloc et dans les services** qui nous aident au quotidien. Une mention spéciale pour **Angélique**, tu t'es toujours souciée de nous et tu nous apportes une joie de vivre au quotidien.

A ma Famille

Maman, Papa, je n'ai pas les mots pour vous remercier, pour tout ce dévouement dont vous faites preuve envers Ilona et moi, si j'en suis là aujourd'hui c'est principalement grâce à vous et les valeurs que vous m'avez transmises. Je suis extrêmement chanceux d'avoir des parents comme vous.

Ilona, le temps passe vite, j'ai encore en mémoire ces moments où je m'occupais de toi étant bébé, aujourd'hui tu as bien grandi et je suis fier de voir ce que tu deviens. Sache que je serai toujours là pour toi.

Marraine, tu m'as toujours tout donné, tu m'as toujours protégé, tu as toujours fait en sorte de me rendre heureux. Sache que je t'en serai éternellement reconnaissant et que tu es pour moi comme une deuxième mère.

Tonton, tu m'as également accueilli dans ta famille, et inculqué des valeurs que je n'oublierai jamais.

Cédric, Alex, à nos souvenirs d'enfance et tous ces bons moments passés, vous avez tous les deux fondés vos propres familles et je vous souhaite le meilleur pour la suite.

Fred, l'oncle dont tous mes copains avaient peur étant plus jeune, tu es quelqu'un d'entier qui a toujours été derrière moi, un vrai pilier sur lequel la famille Vari peut se reposer.

Giuliano, Arthur, j'espère être à la hauteur du rôle que vos parents m'ont confié.

A Laurine,

Blasou, Le Bib, « à mon petit Biboune » (j'ai pas le choix), merci de m'avoir supporté pendant toutes ces années, si j'en suis là aujourd'hui c'est aussi grâce à toi, tu as toujours su me tirer vers le haut, même si le chemin a été quelque peu mouvementé tu as toujours été là, tu as su « m'apprivoiser » et faire ressortir le meilleur de moi-même, je suis fier, heureux et chanceux de t'avoir à mes côtés, aujourd'hui je n'ai pas peur de dire que tu es la plus belle rencontre que j'ai faite dans ma vie.

A mes amis

Julien, « Juju So Fresh », c'est pas souvent que l'on se dit des mots doux alors faut en profiter. Nos premières nocturnes sur Dofus, nos premières cuites, nos 18 ans en commun mémorables, nos premiers voyages, nos engueulades... On aura vécu de vraies belles choses et je suis fier de t'avoir à mes côtés après toutes ces années. Tu es quelqu'un que j'admire profondément, ne change pas.

Micka, notre chemin s'est croisé au collège et même si sur le papier nos personnalités n'étaient pas tout à fait les mêmes ça a matché d'emblée. A toutes ces conneries, ces soirées, ces moments de partage et de bonheur. A ces moments de ride, toi mon professeur de ski attiré, initiateur de longboard qui m'aura couté une clavicule, à tes chutes avec ma moto. Tu es quelqu'un qui a toujours tout donné pour ses amis et pour moi en particulier et je t'en remercie. Un vrai pilier sur lequel je peux assurément compter.

Paulo, « Papa », à toi qui as toujours été là, toujours gentil, toujours souriant, toujours à l'écoute. Tu es entré dans ma vie il y a bien longtemps et j'en suis extrêmement chanceux. A nos premières sorties Mcdo, nos premières sorties tout court, nos premières vacances en Corse, à toutes ces soirées et autres moments partagés tous ensembles. Un vrai lien entre tous. J'ai pas les mots, merci pour tout mon Paulo.

Jamy, le Frate, mon Colonel. Lorsque l'on s'est rencontré, ça n'a pas tardé à faire des étincelles. Histoire de bien faire les choses c'est en « festival » que tout a commencé et j'ai trouvé en toi un parfait complice, quel coup de génie cette histoire de carte manager, je ne l'oublierai jamais. Tu es un modèle de dévouement et de sérieux dans ta vie professionnelle et ce sont des valeurs que j'admire. Tu as toujours été à l'écoute et m'as toujours donné de précieux conseils.

Zaza, Beyrouth, la pro du GinTo (et ses baies à la con). Toi qui supporte ce brave « Nikon » depuis des années. A tous ces potins qui ont animés nos conversations. Tu es quelqu'un de très courageux et d'une gentillesse profonde. Merci d'avoir été là dans les bons comme les mauvais moments et ce malgré la distance. Tu t'apprêtes à commencer une toute nouvelle aventure et pour cela je te souhaite un maximum de réussite, tu le mérites vraiment.

Toinou, « oh mon Toinouuuu », toi qui as un cœur énorme, toujours prêt à donner, toujours prêt à fêter, toujours dans le sourire et la joie, toujours prêt à m'accueillir. Tu as été une des plus belles rencontres que j'ai fait ces dernières années. Je crois que l'on partage les mêmes valeurs et que ce sont elles qui nous ont rapprochées. Si l'on devait donner un exemple de dévotion pour ses proches, ton nom serait tout trouvé.

A la coloc

Germain, le Djedj, Djedjoun, et récemment MainMain (tu comprendras), merci pour toutes ces virées en ville, on s'est retrouvé sous le même toit après que tu aies décidé d'habiter avec mes compères niçois, et on se retrouve tous les deux à passer nos thèses en même temps, dans la même galère, je suis heureux de partager cela avec toi, au moment où tu liras ces lignes nous aurons normalement fini ce périple et pourrons fêter ça comme il se doit !

Paul A., « Popolino », c'est ici qu'on se retrouve, à St Martin du Touch, après tant d'années passées depuis la P2, à toutes ces sorties hasardeuses, ces virées en camion, ces sous-colles, ces vacances et ces soirées, à cette colocation clandestine à l'internat, à cette sombre virée dans les « favelas » de La Paz... Je suis heureux que l'on soit resté ami tout ce temps durant, et même si nos chemins sont maintenant amenés à se séparer j'espère que ce lien restera entre nous.

François, Francis, Franagoïs, Frani, il y en a eu du changement... Merci d'avoir été ce compère de soirée que rien n'arrête, à tous ces déguisements, à tous ces défis, à toutes ces bêtises... Quand je pense à ce beau duo qu'on a pu former à certains moments, je me dis qu'on était inarrêtable, d'ailleurs cela s'est vu à certaines occasions (petit WED offert par exemple). Je te remercie aussi pour ton expertise sans égale sur le football et ta technique balle au pied. J'espère qu'un jour on aura de nouveau l'occasion d'être aussi bête.

Paul B., Bouleton, Dr Boulard, Boulito, toi aussi t'en as eu pas mal. A ce couloir de la chirurgie partagé pendant plus de 2 ans, à toutes ces soirées où tu nous as régalé, à ces mix ClaviD/ClaviG que tu nous as concocté... Toujours à l'écoute, patient, et de bon conseil, je te remercie d'avoir été là depuis que l'on se connaît. Après tout ce qu'on a pu partager je peux dire que je suis très heureux d'avoir fait ta rencontre et qu'une belle amitié est née.

Andrea, Dadou, il a fallu qu'on soit à l'autre bout de la France pour qu'on devienne ami, c'est pas faute d'avoir été dans la même promo depuis plusieurs années... Une joie de vivre au quotidien, toujours partant pour tout, un vrai bon vivant et un vrai grand cœur qui a énormément à donner. Ton chauvinisme fait plaisir à voir. Je suis triste que tu n'aies pas été là ces 6 derniers mois, mais on a tout le temps de se rattraper.

Aux Niçois, Albigeois et Toulousains

Keke, mon banquier sûr.

Romich, le plus beau des artistes.

Triton, à nos belles aventures passées et celles à venir, j'espère qu'on se retrouvera un jour sur la côte.

Giu, l'allégorie de la galère.

Dede, merci de t'être occupé de moi toutes ces soirées.

Shelsea, un beau petit carnage en soirées.

A tous les autres **copains du BDE**, on a vraiment vécu une aventure incroyable.

Baptiste, merci pour tous ces cassages de bide, toutes ces exodes pour faire des soirées et tous ces covoit pour aller en stage.

Constant, la classe en toute circonstance, ptite chèvre ?

Merci à **Antoine** et au **Campo** pour nous avoir accueilli à bras ouverts un nombre incalculable de fois.

A **Quentin**, mon claviD, notre talent de DJ s'est révélé au monde entier grâce à notre association.

A toute la **Team Saucisse** et ces PACES (et bien plus encore) riches en émotions.

Jérémie, la Giz, à tous ces coups de cabines mérités.

William, Wilf, journaliste sportif en herbes.

Louis, « hmmmmmm ».

Passy, le vrai Paul.

Lorenzo, Laurent, Cazzo, à toutes ces séances de steak.

Pierrot, à toutes ces punchlines incroyables,

Rudy, « Il 5 maggio ».

Sans oublier notre **Loïk** national, tu nous manques fort.

Audrey, un vrai repère en arrivant à Albi en ce début d'internat, on se connaissait de Nice mais j'ai pu te découvrir encore plus ici, dommage que tu sois partie si loin, dans le presque vrai sud.

Rémy, j'aurais pas pu trouver meilleur coach, tu m'as fait rêver pendant ce confinement, à ces séances de fractionné, à toutes ces conduites de formule 1 sur table, à tous ces apéro, une vraie belle personne, j'espère te revoir plus souvent

Marie, une vraie belle rencontre toi et ton Aveyron (profites en), tu m'as toujours soutenu dans les moments difficiles, une amie sur qui je peux compter en toutes circonstances, merci de préserver ce lien malgré mon manque récurrent de discussion, promis j'essayerai de faire des phrases

Paul, je suis très content d'avoir pu faire ta rencontre, un grand cœur, tu te soucies des autres, à tous ces apéros des bons vivants, si je devais retenir une chose de notre relation c'est que je te fume au ping-pong

Claire, notre Bouboule nationale, cette voisine de chambre devenue au fil temps mon amie, une oreille à l'écoute, à tous ces petits debrief de lendemain de soirée, les petits thés, adepte du pastis toi qui viens de l'opposé, merci d'avoir été là

François R., mon capitaine, partenaire de soirée, à cette Boiler Room dans les toilettes improvisée, une sympathie et une bonne humeur constante, j'ai hâte de te retrouver sur Toulouse

Alice, tout comme Doub, tu as été une vraie belle rencontre pour moi. Certes on n'est pas parti du bon pied (tu regardes mal), mais par la suite ça s'est arrangé. Merci d'avoir été à l'écoute, de nous avoir trouvé du « Champagne » origine officielle pour cette belle occasion, et merci beaucoup pour la joie que tu nous as apporté dans tes repas.

Sebio, « oh mon Sebioooo, t'es le plus beauuuuuuu ».

Lulu, ce si grand bonhomme qui a réussi à supporter cette horde de niçois déchaînés en début d'internat.

Vico, deuxième mère des niçois, un grand merci d'avoir supporté nos bêtises constantes

Sebo et Loulou, les plus beaux

Thibaut W., je n'aurais qu'un mot à dire « allooooooo »

Jules, meilleur maître-nageur d'Albi et médaille d'or de la farce

Clément, roi de la bière et rock star de Guitar Héro.

Camille, tu es la définition de « subir » en retour de gifle

Mathilde, quand tu veux pour une sortie Longboard

Sans oublier tous les autres copains de **l'internat d'Albi et de Rangueil**, merci pour tous ces bons moments.

Un merci également à toutes les personnes que je n'ai pas cité et qui de près ou de loin m'ont permis d'arriver jusqu'ici.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	21
2	PARTIE 1 - UTILISATION DES GREFFONS ISCHIO-JAMBIERS EN PRESERVANT L'INSERTION TIBIALE : REVUE SYSTEMATIQUE ET META-ANALYSE	23
2.1	OBJECTIF ET HYPOTHESE.....	23
2.2	METHODE.....	23
2.2.1	<i>Identification et sélection des études</i>	23
2.2.2	<i>Critères d'inclusion et d'exclusion</i>	24
2.2.3	<i>Extraction et analyse de données</i>	24
2.2.4	<i>Analyse statistique</i>	25
2.3	RESULTATS.....	26
2.3.1	<i>Recherche de littérature, sélection des études et caractéristiques</i>	26
2.3.2	<i>Analyse des résultats des techniques NDHT (Tableau 1)</i>	27
2.3.3	<i>Analyse des résultats du NDHT versus DHT (Tableau 2)</i>	30
2.4	DISCUSSION	33
2.5	CONCLUSION	37
3	PARTIE 2 - ETUDE COMPARANT L'INCORPORATION DU DEMI-TENDINEUX PEDICULE VS LE DEMI-TENDINEUX NON PEDICULE	37
3.1	OBJECTIF ET HYPOTHESE.....	37
3.2	METHODE.....	37
3.2.1	<i>Patients</i>	38
3.2.2	<i>Technique chirurgicale</i>	39
3.2.3	<i>Critères de jugement</i>	41
3.2.4	<i>Analyse statistique</i>	45
3.3	RESULTATS.....	46
3.3.1	<i>Signal-to-Noise Quotient</i>	47
3.3.2	<i>Objectifs secondaires (Tableau 4)</i>	48
3.4	DISCUSSION	49
3.5	CONCLUSION	53
4	PARTIE 3 - ÉTUDE DES FACTEURS INFLUENÇANT L'INCORPORATION D'UN GREFFON DE LIGAMENT CROISE ANTERIEUR (LCA)	54
4.1	OBJECTIF ET HYPOTHESE.....	54
4.2	METHODE	54
4.2.1	<i>Patients</i>	54
4.2.2	<i>Évaluation des patients</i>	55
4.2.3	<i>Critères de jugement</i>	55
4.2.4	<i>Facteurs d'exposition</i>	56
4.2.5	<i>Analyse statistique</i>	56
4.3	RESULTATS.....	57
4.4	DISCUSSION	59
4.5	CONCLUSION	63
5	CONCLUSION	63
6	BIBLIOGRAPHIE	64
7	ANNEXES	71

1 Introduction

Les ruptures du ligament croisé antérieur (LCA) font partis des traumatismes du genou les plus fréquents(1-4). Plusieurs types de greffons ont été utilisé pour restaurer la stabilité du genou(5-8).

Parmi ces techniques, celles utilisant les greffons aux ischio-jambiers font partie des plus utilisées et avec de très bons résultats(4,7-9). Les techniques classiques utilisent les tendons des muscles droit-interne (DI) et demi-tendineux (DT) qui sont prélevés et détachés de leur insertion tibiale(10-13) (Detached Hamstring graft, DHT). Il a été proposé une évolution de ces techniques en laissant les tendons ischio-jambiers pédiculés à leur insertion tibiale(10,12,13) (Non Detached Hamstring graft, NDHT). Le fait de préserver l'insertion tibiale permettrait de conserver la vascularisation et l'innervation du greffon. En effet, Zaffagnini et al(14) ont montré l'existence d'un apport vasculaire bien défini et d'un large éventail de fibres nerveuses sur l'insertion de ces tendons. A ce jour, la seule revue de la littérature sur le sujet a été proposée par Ruffili et al(15) en 2015. Ces derniers ont intégré 6 études dans leur revue totalisant 363 patients, sans pouvoir regrouper et comparer les résultats entre elles. Il en ressort cependant que les scores fonctionnels sont supérieurs lorsque l'insertion tibiale des greffons ischio-jambiers est préservée dans 3 études. Les 3 autres ne retrouvaient pas de différence statistiquement significative. Il semble donc intéressant de réaliser une revue systématique et méta-analyse sur l'ensemble des résultats obtenus par ces nouvelles techniques pédiculées.

Les premières techniques décrites d'utilisation seule du demi-tendineux (DT) permettent de n'utiliser qu'un seul tendon ischio-jambier pour la reconstruction du LCA(16,17). Le fait d'épargner le gracile permet d'y associer une reconstruction du ligament

antérolatéral(18) et d'apporter de meilleurs résultats isocinétiques(19). Les performances du DT seul ont montré qu'elles étaient comparables à celles utilisant un DT associé au gracile(19). Ainsi, il n'est pas nécessaire d'utiliser les deux tendons ischio-jambiers pour une reconstruction isolée du LCA(20)(21). Il a été proposé une évolution de cette technique en laissant le demi-tendineux pédiculé à son insertion tibiale(10) (DTp). Cette évolution aurait l'avantage de donner une stabilité supplémentaire au montage (double fixation tibiale), et pourrait permettre une meilleure incorporation du greffon(22). A ce jour, il n'existe aucune étude comparant l'incorporation des DT seuls pédiculés et non pédiculés.

L'évaluation post-opératoire d'une chirurgie de reconstruction du LCA est plurifactorielle : clinique(23-26) et paraclinique(27-29). L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est l'examen complémentaire le plus utilisé pour l'évaluation de l'incorporation du greffon après une chirurgie de reconstruction du LCA(30-32). Plusieurs techniques utilisant le signal du greffon sont disponibles pour évaluer son incorporation. Le Signal to Noise Quotient (SNQ) est un marqueur fiable et reproductible largement utilisé à l'heure actuelle(16,17,33-35). Plusieurs facteurs influençant le taux de rupture du greffon ont été retrouvés(2,36-39). Cependant, il existe peu de données concernant les facteurs influençant l'incorporation du greffon(34,40-43). A ce jour les données de la littérature sur ces facteurs sont manquantes et divergent. Il semble donc intéressant de rechercher quels sont les facteurs pouvant influencer l'incorporation du greffon afin de pouvoir déterminer quels seront les patients à risque de rupture précoce et d'en prévenir la survenue.

Les objectifs de ce travail étaient de répondre aux questions suivantes :

- Les greffons aux ischio-jambiers ont-ils de meilleurs résultats lorsque leur insertion tibiale est préservée ?
- Les greffons au demi-tendineux ont-ils une meilleure incorporation lorsque leur insertion tibiale est préservée ?
- Quels sont les facteurs influençant l'incorporation du greffon ?

2 Partie 1 - Utilisation des greffons ischio-jambiers en préservant l'insertion tibiale : revue systématique et méta-analyse

2.1 Objectif et Hypothèse

L'objectif principal de cette étude est de réaliser une revue systématique de la littérature et méta-analyse sur les techniques aux ischio-jambiers préservant leur insertion tibiale (NDHT). Notre hypothèse est que laisser les greffons ischio-jambiers pédiculés permet d'obtenir des résultats cliniques, fonctionnels et d'imagerie au moins équivalents aux techniques non pédiculées lors d'une chirurgie de reconstruction du LCA.

2.2 Méthode

2.2.1 Identification et sélection des études

Une recherche exhaustive de la littérature publiée dans les bases de données PubMed, MEDLINE, Cochrane et Ovid a été effectuée sur la base des directives PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)(44). Les références des

articles primaires et de synthèse et des principaux textes orthopédiques ont été croisées pour identifier tout article supplémentaire répondant aux critères d'inclusion et n'ayant pas été localisé dans la recherche d'origine. Les termes suivants ont été utilisés comme mots-clés : « non-detached », « preserved tibial insertion » en combinaison avec le terme « ACL reconstruction ». Tous les articles publiés jusqu'au 1er janvier 2022, ont été inclus, y compris les articles publiés en ligne.

2.2.2 Critères d'inclusion et d'exclusion

Cette étude comprenait tous les articles originaux faisant état d'études cliniques prospectives (1) sur les reconstructions du LCA utilisant des greffons au DI-DT pédiculés (DI-DTp), (2) comparant les résultats des DI-DTp versus DI-DT classiques et (3) comparant les résultats des DI-DTp versus autres techniques. Toutes les procédures étaient des chirurgies de première intention pour reconstruction du LCA, avec ou sans lésion méniscale associée.

Nous avons exclu les articles non pertinents et les études qui ne remplissaient pas les critères d'inclusion, tels que les revues, les articles non disponibles en français ou en anglais, les études avec moins de 12 mois de suivi, les études examinant les résultats après chirurgie multi-ligamentaire et les études rétrospectives.

2.2.3 Extraction et analyse de données

Les articles identifiés dans les recherches ont été examinés par 2 auteurs (N.V., E.C.). L'extraction des données a été effectuée indépendamment par les 2 auteurs et tout conflit a été résolu avant l'analyse finale. Dans les séries cliniques et comparatives, les mesures de résultats ont été recueillies. Lorsque les données nécessaires aux analyses statistiques

n'étaient pas fournies, les auteurs étaient contactés par e-mail. Les paramètres analysés dans cette revue systématique et méta-analyse étaient (1) la stabilité du genou, incluant la différence moyenne d'un côté à l'autre et le pourcentage de différence d'un côté à l'autre supérieur à 3 mm (à l'aide d'un arthromètre KT-1000/2000 ou Rolimeter), un test de Lachmann normal (côté à 1) ou anormal (côté à 2 ou 3), un pivot shift test normal (côté à 0 ou 1) ou anormal (côté à 2 ou 3), les amplitudes articulaires, une translation tibiale antérieure, des douleurs, des re-ruptures et une reprise chirurgicale ; (2) les scores fonctionnels, incluant le score de Lysholm, le score de Tegner, l'échelle ACL-RSI, le score de KOOS et le score IKDC ; (3) les critères IRM, incluant le Signal to Noise Quotient (SNQ), le score de Howell et les scores spécifiques à chaque étude.

2.2.4 Analyse statistique

Les résultats des études ont été compilés avec le nombre d'événements et le nombre total de sujets dans les groupes expérimentaux (NDHT) par rapport aux groupes témoins (DHT) (pour un Lachman = 2 ou 3, pivot shift test = 2-3, douleur et re-rupture). Les résultats des études ont été tabulés avec la moyenne et l'écart type (SD) ainsi que le nombre total de sujets dans les groupes expérimentaux par rapport aux groupes témoins pour les critères d'évaluation continus (score de Tegner). Les moyennes et SD manquants ont été évalués à partir de la médiane, de l'intervalle et de la taille de l'échantillon(45). Les SD manquants (sans médiane ni range) ont été évalués en fonction de la taille de l'échantillon et des moyennes à partir des valeurs de p rapportées(46). Pour la description des résultats expérimentaux (NDHT), nous avons calculé la fréquence de l'événement ou la moyenne pondérée (du critère d'évaluation continu) avec l'intervalle de confiance à 95 % (IC95 %). Nous avons calculé le risque relatif d'événement pour le groupe expérimental par rapport au groupe témoin selon l'approche de la variance inverse avec

leurs intervalles de confiance à 95 %. Lorsque le nombre d'événements était égal à 0 dans chaque groupe, il était imputé à 1 afin d'estimer le risque relatif. Nous avons estimé les différences moyennes entre le groupe expérimental et le groupe témoin pour les paramètres continus selon l'approche de la variance inverse avec leurs intervalles de confiance à 95 %. Pour évaluer l'hétérogénéité entre les études, nous avons utilisé des forrest plot ainsi que la statistique d'hétérogénéité de Cochran et les coefficients I² de Higgins.(47) Une p-value <0,1 ou I²>50 % a été considérée comme évocatrice d'une hétérogénéité statistique, incitant à la modélisation des effets aléatoires. Nous avons produit des funnel plot pour évaluer les effets des petites études(48). Pour les analyses, nous avons utilisé le logiciel d'analyse Review Manager 5.2 (The Cochrane Collaboration, Copenhague, Danemark).

2.3 Résultats

2.3.1 Recherche de littérature, sélection des études et caractéristiques

La recherche de la littérature dans les différentes bases de données a permis d'identifier 220 articles. Après exclusion des duplicatas, 187 articles ont été évalués. Après screening des titres et résumés, 25 articles ont été inclus et les textes entiers ont permis d'évaluer leur éligibilité. Ainsi, 12 articles présentaient nos critères d'éligibilité : 3 études rapportant leurs résultats en utilisant une technique DI-DTp(49-51), 6 études comparaient les résultats entre une technique DI-DTp et DI-DT classique(35,52-56), 3 études comparaient les résultats entre une technique DI-DTp et d'autres techniques de reconstruction du LCA (2 techniques demi-tendineux replié en 4 brins(56,57) et 1 technique tendon patellaire avec baguette osseuse(58)). (Figure 1) Au total, 665 DI-DTp utilisés pour reconstruction du LCA ont été analysés.

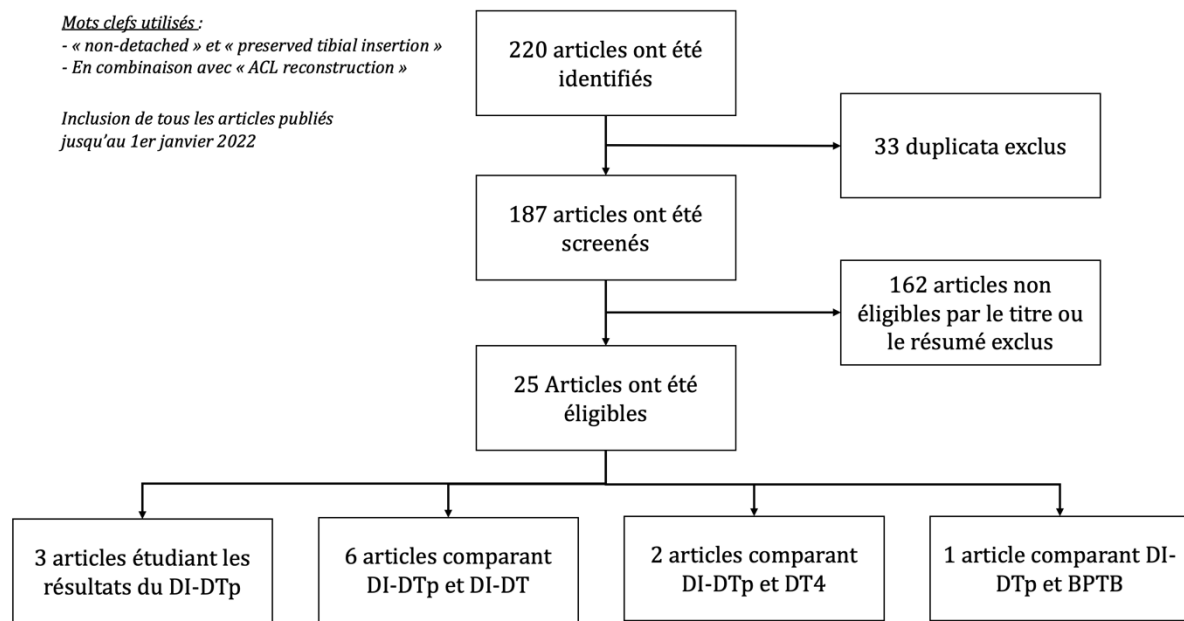


Figure 1. Diagramme de flux de la sélection d'étude selon la méthode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Meta-Analyses). *DI-DTp*, Demi tendineux – Droit Interne pédiculé ; *DT4*, demi-tendineux replié en 4 brins ; *BPTB*, Bone Patellar Tendon Bone

2.3.2 Analyse des résultats des techniques NDHT (ou *DI-DTp*) (Tableau 1)

Tableau 1. Critères mesurés avec les techniques aux ischio-jambiers pédiculés (NDHT).

	n	Moyenne* ou % (95% CI)
KT1000 Arthrometer (a)	153	2.61 (2.48-2.74)
Lachmann > 1	148	4.73 (1.31-8.15)
Pivot Shift Test > 1	206	0.49 (0.00-1.43)
TTA	104	2.88 (6.01-15.79)
Douleur	156	10.90 (6.01-15.79)
Re-rupture	174	0.00 (0.00-0.00)
Reprise chirurgicale	131	5.34 (1.49-9.19)
Autres complications	173	7.51 (0.00-11.44)
Score de Tegner (b)	152	6.60 (6.32-6.88)

* Les résultats sont exprimés en moyenne

(a) Les résultats sont exprimés en mm

(b) Les résultats sont exprimés en chiffres
NDHT, Non Detached Hamstring graft

KT1000 Arthrometer

Dans 3 articles, 153 patients ont bénéficié d'une mesure de différence de translation tibiale antérieure entre les 2 genoux avec un KT1000 Arthrometer. La différence moyenne est 2,61 mm (IC95%, 2.48 – 2.74).

Lachmann

Dans 4 articles, 148 patients ont été évalués par un test de Lachmann. Un test anormal (Lachmann 2 ou 3) a été retrouvé chez 4.73% des patients (IC95%, 1.31%–8.15%).

Pivot Shift Test

Dans 6 articles, 206 patients ont été évalués avec un Pivot Shift Test. Un ressaut franc ou explosif a été retrouvé chez 0,49% des patients (IC95%, 0.00%-1.43%).

Translation Tibiale Antérieure (TTA)

Dans 2 articles, 104 patients ont bénéficié d'une évaluation de TTA. Une translation était retrouvée chez 2.88% des patients (IC95%, 0.00%-6.10%).

Douleur

Dans 4 articles, 156 patients ont été évalués sur la persistance de douleurs. Une douleur persistante a été retrouvée chez 10.90% des patients (IC95%, 6.01%-15.79%).

Re-rupture

Dans 5 articles, 174 patients ont été évalués sur le taux de re-rupture. Aucun d'entre eux n'a présenté de re-rupture (IC95%, 0.00%-0.00%).

Reprise chirurgicale

Dans 3 articles, 131 patients ont été évalués sur le taux de reprise chirurgicale. 5,34% des patients ont bénéficié d'une reprise chirurgicale sur ce genou (IC95%, 1.49%-9.19%).

Autres complications

Dans 3 articles, 173 patients ont été évalués pour d'éventuelles autres complications. 7,51% des patients ont eu d'autres complications (IC95%, 0.00%-11.44%).

Score de Tegner

Dans 9 articles, 152 patients ont été évalués par le score de Tegner post-opératoire. Le score de Tegner moyen était de 6.60 +/- 1.77 (IC95%, 6.32-6.88).

Autres critères de jugement

Aucune méta-analyse n'a pu être réalisé pour les autres critères de jugement car : (1) 3 articles étudiaient le KT2000 Arhtrrometer mais les SD étaient manquants (2) aucun article étudiant les ROM et le Lysholm ne précisait la moyenne +/- SD ; (3) aucun article n'a étudié les résultats ACL-RSI, KOOS et ETT ; (4) le score IKDC a été étudié dans seulement un article ; (5) 3 articles étudiaient le SNQ mais les SD étaient manquants ; (6) seulement un article a étudiait le score de Howell et (7) les scores spécifiques utilisés par chaque étude n'étaient pas combinables.

2.3.3 Analyse des résultats du NDHT versus DHT (Tableau 2)

Tableau 2. Analyse des critères dans les études ischio-jambiers pédiculés (NDHT) versus ischio-jambiers non pédiculés (DHT)

	n NDHT : DHT	Risque relatif ou différence moyenne (IC95%) NDHT : DHT	p-value
Lachmann > 1	75 : 77	0.30 (0.08 – 1.12)	0.07
Pivot Shift Test > 1	112 : 112	0.50 (0.10 – 2.49)	0.40
Re-rupture	80 : 73	0.66 (0.13 – 3.42)	0.62
Douleur	62 : 60	1.14 (0.30 – 4.40)	0.85
Score de Tegner*	112 : 112	0.07 (-1.87 – 2.00)	0.95

* Résultats en différence Moyenne

NDHT, Non Detached Hamstring graft ; DHT, Detached Hamstring graft

Lachmann

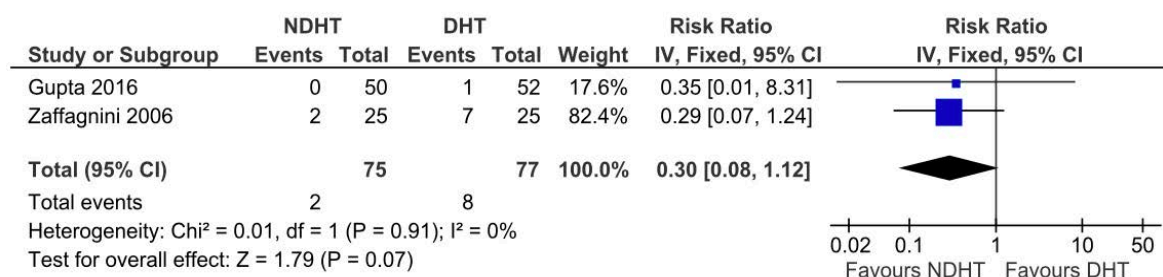


Figure 2. Forrest plot comparant le score de Lachmann entre les techniques NDHT et DHT
L'analyse des graphiques en forêt montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les groupes concernant le Lachmann. On remarque cependant une tendance en faveur du groupe NDHT sans atteindre le seuil de significativité de 5% (avec p-value=0.07<0.20).

Pivot Shift Test

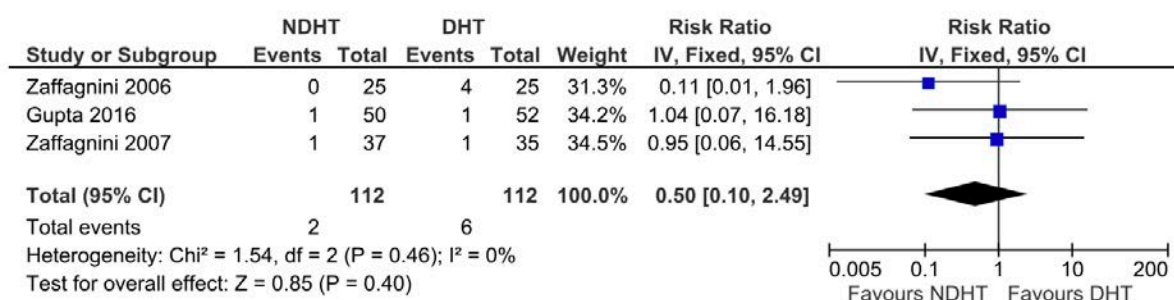


Figure 3. Forrest plot comparant le pivot shift test entre les techniques NDHT et DHT

Il n'y a pas de différence significative entre les groupes.

Re-rupture

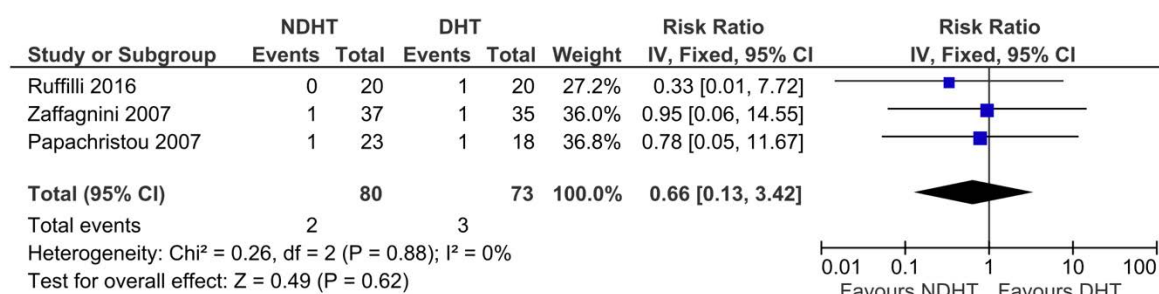


Figure 4. Forrest plot comparant les re-ruptures entre les techniques NDHT et DHT.

Il n'y a pas de différence significative entre les groupes.

Douleur

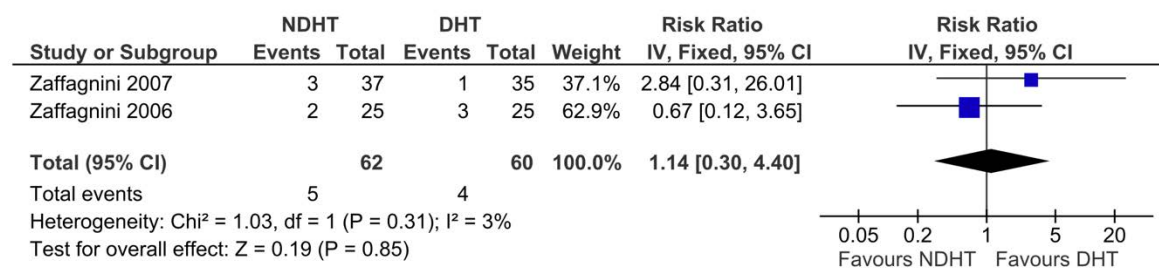


Figure 5. Forrest plot comparant la douleur entre les techniques NDHT et DHT.

Il n'y a pas de différence significative entre les groupes.

Score de Tegner

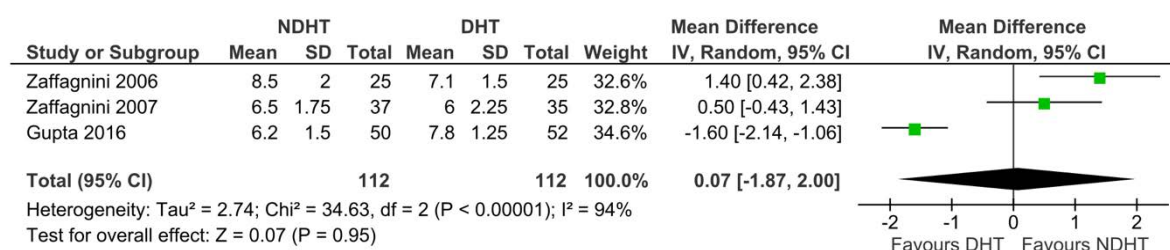


Figure 6. Forrest plot comparant le score de Tegner entre les techniques NDHT et DHT.

Il n'y a pas de différence significative entre les groupes. Il existe une forte hétérogénéité pour cette méta-analyse (car les études vont en sens-inverse).

Autres critères de jugements

Pour les autres critères de jugement, aucune méta-analyse n'a pu être réalisée car : (1) les critères suivants étaient analysés uniquement par un seul article pour chaque critère (KT2000 Arthrometer, ROM, ATT, Ré-opération, autres complications, IKDC, Howell) ; (2) 2 articles étudiaient le score de Lysholm mais les SD étaient manquants ; (3) aucun article n'étudiait les scores ACL-RSI, KOOS et l'ETT ; (4) 3 articles étudiaient le KT1000 Arthrometer et le SNQ mais les SD étaient manquants ; (5) les scores spécifiques utilisés par chaque étude étaient non combinables.

Funnel plots

L'analyse des funnel plots (en annexe) ne révèle pas de biais de publication.

2.4 Discussion

L'hypothèse est confirmée, les techniques utilisant des greffons aux ischio-jambiers pédiculés ont des résultats au moins équivalents aux techniques utilisant des greffons aux ischio-jambiers non pédiculés. L'analyse des critères évalué sur les greffons aux ischio-jambiers pédiculés retrouve des genoux stables, avec de bons résultats cliniques et peu de complications. L'analyse des résultats comparant les techniques pédiculées et non pédiculées retrouve des résultats comparables en terme de stabilité, de douleur et de fonction.

Au total, notre méta-analyse regroupant 665 patients ayant bénéficié de techniques aux ischio-jambiers pédiculés a été en accord avec la précédente revue de la littérature de Ruffilli et al.(15) sur 363 patients. Nos résultats obtenus avec des techniques aux ischio-jambiers pédiculés retrouvent de très bons résultats cliniques et fonctionnels, en particulier en terme de pivot shift test positif (0,49% ; IC95%, 0.00%-1.43%) et de rupture (0.00% ; IC95%, 0.00%-0.00%). Les résultats sont aussi en accord avec des études rétrospectives que nous n'avons pas incluses dans cette méta-analyse. Buda et al(59), dans leur étude rétrospective sur 28 patients, retrouvaient d'excellents résultats en terme d'IKDC fonctionnel avec un score moyen de 93.8/100 et en terme de résultat IRM avec 25/28 patients avec un score de Yamato à 1. Meynard et al(60), dans leur cohorte rétrospective se sont penchés sur les résultats à plus long terme des techniques aux ischio-jambiers pédiculés, avec un suivi moyen de 9,9 ans. L'évaluation du KOOS score moyen était de 86.3±16.3, 94,4% avaient un Pivot Shift Test négatif, et 49/50 patients avaient un genou considéré comme « normal » ou « presque normal » lors de l'évaluation de l'IKDC objectif (Grade A ou B).

Dans notre méta-analyse, les résultats en terme de Lachmann (RR = 0.30, IC95% 0.08 – 1.12) de Pivot Shift Test (RR = 0.50, IC95% 0.10 – 2.49) et de Re-Rupture (RR = 0.66, IC95% 0.13 – 3.42) ne sont pas significatifs mais sont tous en faveur de la technique NDHT. Ces résultats peuvent être expliqués par un manque de puissance car sur peu d'études (méta-analyse sur 2 à 3 études seulement). Laisser les ischio-jambiers pédiculés apporte une plus grande stabilité du montage. En effet, Bahlau et al(61) ont montré sur des cadavres que la stabilité du montage était meilleure lorsque les greffons sont laissés pédiculés à leur insertion tibiale, associée à une vis d'interférence en comparaison à des greffons pédiculés simples (moyenne=111.2N vs. 89.2N, $p<0.05$) et des greffons non pédiculés avec une vis d'interférence (111.2N vs. 67.2N, $p=0.005$). Les résultats en terme de douleur (RR =1.14, IC95% 0.30 – 4.40) sont très légèrement en faveur du groupe DHT. Nous pensons qu'il est difficile d'améliorer des résultats concernant la douleur post-opératoire du fait du peu de différence en terme de geste lors de la chirurgie. Le seul geste différent est la section ou non de l'insertion tibiale des ischio-jambiers, ce qui ne va pas modifier le processus douloureux post-opératoire, que ce soit à court ou long terme.

La chirurgie de reconstruction du ligament croisé antérieur a beaucoup évolué depuis ses débuts(62). L'objectif doit être de nos jours de rester le plus « biologique » possible, afin d'obtenir la meilleure incorporation du greffon. C'est en cela que nous pensons qu'il est essentiel que l'insertion native des ischio-jambiers doit être préservée. Le processus de ligamentisation a été étudié à de nombreuses reprises(22,32,63–68). Van Dyck et al(31) ont étudié les différents outils IRM à notre disposition dans leur revue systématique de la littérature comportant 34 études. Ils en ont conclu que la plupart des techniques étaient différentes et variaient entre les études, ne permettant pas d'avoir de méthode universelle. Cependant, il est admis que le processus de ligamentisation se fait selon plusieurs phases bien précises. Van Groningen et al(30) ont réalisé une revue

systematique de la littérature afin de les déterminer à la fois sur le plan histologique mais aussi grâce à l'IRM et le SNQ. Les études histologiques s'accordent sur un processus en 3 phases : une première phase de guérison, suivi d'une phase de remodelage, puis d'une phase de ligamentisation (transformation du greffon en ligament). Pour les études IRM utilisant le SNQ, malgré des scores qui sont différents en valeur absolue, il en ressort un signal du greffon atteignant son pic autour du 6^{ème} mois post-opératoire, suivi d'une décroissance progressive jusqu'à 1 an. Plus le signal du greffon est bas et correspond au signal d'un ligament normal (Ligament Croisé Postérieur), plus l'incorporation du greffon est bonne. Le signal du greffon est largement utilisé à l'heure actuelle pour évaluer la bonne incorporation du greffon et pour valider certaines techniques chirurgicales. Cavaignac et al(16) ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative de SNQ entre les techniques utilisant le demi-tendineux et le gracilis vs uniquement le demi-tendineux dans les reconstruction du LCA (moyenne=5.2 +/- 4.5 dans le groupe DI-DT vs 5.9 +/- 3.7 dans le groupe DT4, $P = .5100$). De la même manière, ils ont montré que la ligamentisation était meilleure lorsque l'on ajoutait une ténodèse latérale au montage lorsque celle-ci était indiquée(17) avec un SNQ moyen à 0.5 ± 2.1 (95% CI, 0.4-4.6) dans le groupe DT4 + LET vs 5.9 ± 3.7 (95% CI, 4.7-7.0) dans le groupe DT4 isolé ($P=.0297$). Grassi et al(52) dans leur article, ont utilisé l'IRM comme critère d'évaluation. Ils ont réalisé une IRM à 4 et 18 mois post-opératoires pour comparer une technique préservant l'insertion tibiale des ischio-jambiers contre une technique classique. Il y avait un signal plus faible dans le groupe avec insertion tibiale préservée à 4 ($p = 0.008$) et 18 mois ($p = 0.028$), suggérant une meilleure ligamentisation du greffon.

Ce concept est étudié depuis longtemps. En 2007, Papachristou et al(22) avaient étudié l'aspect histologique de greffons ischio-jambiers pédiculés vs non pédiculés chez le lapin.

Il en ressortait qu'à 3, 6 et 12 semaines post-opératoire, il existait un retard de cicatrisation dans le groupe non pédiculé, due à des zones de nécroses avasculaires persistantes. De plus, à 12 semaines, l'architecture et la cellularité des greffons pédiculés étaient réorganisées, avec une attache os-ligament similaire à un ligament natif ; là où l'architecture était encore altérée dans le groupe non pédiculé, avec un nombre moins important de vaisseaux et des altérations dégénératives.

Dans notre revue systématique de la littérature, il n'y a eu aucune re-rupture sur 174 patients ayant eu une technique NDHT (0.00 ; IC95% 0.00% - 0.00%). Ce résultat peut être expliqué par la durée de suivi relativement courte des études sur le sujet. En effet, hormis les études de Marcacci et al.(50) avec un suivi de 11 ans et de Zaffagnini et al.(58) avec un suivi de 8 ans, les autres études ont un suivi moyen aux alentours de 2 ans. Il serait intéressant d'évaluer le taux de re-rupture à distance de la chirurgie, lors de la reprise des activités sportives à plus long terme. Cela pourrait confirmer la meilleure solidité d'un montage NDHT.

Cette étude présente plusieurs limites. Premièrement, la totalité des articles ne sont pas des essais contrôlés randomisés, cela peut emmener des différences dans les populations étudiées, pouvant modifier les résultats obtenus. Deuxièmement, les critères étudiés dans cette méta-analyses étaient comparables dans peu d'études, soit parce que les critères étudiés n'étaient pas les mêmes, soit parce que les données étaient manquantes. Quoiqu'il en soit, cela reste la seule méta-analyse à ce jour avec une cohorte aussi importante de patients ayant bénéficié de techniques aux ischio-jambiers pédiculés. Troisièmement, bien que les techniques chirurgicales utilisaient les même tendon (demi-tendineux et gracilis) , il persiste des différences entre elles, notamment de fixation (vis, endobouton, agrafe), qui peuvent entraîner des biais dans les résultats également.

2.5 Conclusion

Les techniques aux ischio-jambiers pédiculés donnent des résultats similaires aux techniques non pédiculés, avec une tendance à une meilleure stabilité et un taux de re-rupture plus faibles. Des essais contrôlés randomisés de plus grande envergure sont néanmoins nécessaires pour démontrer leur supériorité.

3 Partie 2 - Etude comparant l'incorporation du demi-tendineux pédiculé vs le demi-tendineux non pédiculé

3.1 Objectif et Hypothèse

L'objectif principal de cette étude est de comparer l'incorporation du greffon avec la technique Demi-Tendineux pédiculé (DTp) contre la technique Demi-Tendineux classique (DT) en utilisant le SNQ à 1 an post-opératoire. Les objectifs secondaires sont de comparer les résultats cliniques et fonctionnels à 1 an entre ces deux populations. Notre hypothèse est que l'incorporation du greffon est meilleure en utilisant une technique DT seul pédiculé en comparaison à une technique DT seul non pédiculé.

3.2 Méthode

Il s'agit d'une étude comparative de supériorité monocentrique quasi-expérimentale de type « avant-après » avec recrutement prospectif des patients traités selon le soin courant. Dans notre centre du sud-ouest de la France, la reconstruction du LCA par la technique

DT pédiculé(69) est utilisé couramment. Les patients inclus entre juillet 2019 et novembre 2019 ont bénéficié d'une reconstruction par technique DT standard. De décembre 2019 à février 2020, les patients ont bénéficié d'une reconstruction avec la technique DT pédiculé. La décision est basée sur les critères ci-dessous. L'étude a été approuvée par notre RnIPH 2021.

3.2.1 Patients

Durant la période d'étude, 205 patients avec une rupture du LCA ont été éligibles à une reconstruction.

Les critères d'inclusion étaient : >18 ans et <50 ans, diagnostic clinique et IRM d'une rupture du LCA, genou controlatéral sain, réévalué lors d'une consultation de suivi à 1 an de la chirurgie (pratique de soins courants dans notre centre), pour le groupe contrôle : ayant bénéficié d'une technique de reconstruction du LCA par DT non pédiculé, pour le groupe testé : ayant bénéficié d'une technique de reconstruction du LCA par DT pédiculé, pris en charge au CHU de Toulouse.

Les critères d'exclusion étaient : lésion du LCP, LLI \geq grade 3, LLE \geq grade 3, Lésions cartilagineuses \geq grade 2 (classification d'Outerbridge), fracture associée, malposition des tunnels, lésions préalables du genou atteint ayant entraîné de précédentes chirurgies, douleur fémoro-patellaire, maladie systémique.

Sur les 205 patients : 12 n'ont pas bénéficié d'une technique de reconstruction par DT isolé (3 DIDT, 8 techniques au Fascia Lata, 1 Tendon Quadricipital (TQ)), 4 avaient une lésion du Ligament Croisé Postérieur (LCP), 9 patients ne se sont pas présentés en

consultation de suivi à 1 an. Au total, 90 patients ont bénéficié d'une technique avec une technique DT isolé standard et 90 avec une technique DT isolé pédiculé (Figure 7).

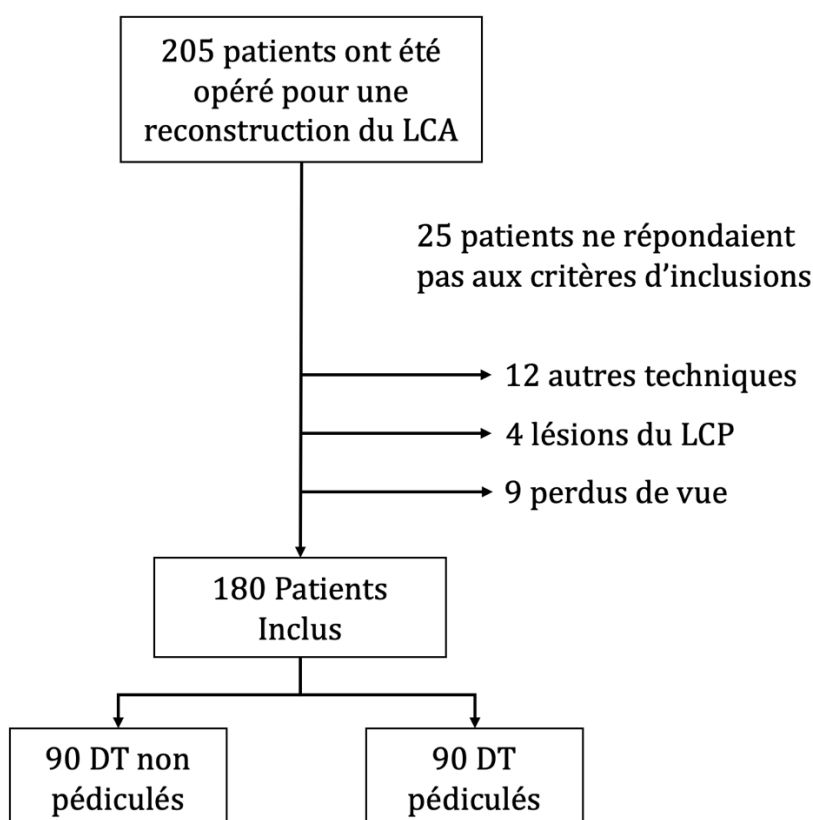


Figure 7 - Diagramme de flux : recrutement des patients entre juillet 2019 et février 2020 – LCA, Ligament Croisé Antérieur ; LCP, Ligament Croisé Postérieur ; DT, Demi-Tendineux

3.2.2 *Technique chirurgicale*

Les patients ont bénéficié d'une reconstruction du LCA par technique DT non pédiculé ou DT pédiculé(69). Concernant la technique DT non pédiculé, le tendon du demi tendineux est prélevé et détaché à son insertion tibiale, il est ensuite préparé sur table et replié en 4 brins selon une technique déjà décrite(17). Concernant la technique DT pédiculé (Figure 2), le tendon du demi tendineux est laissé pédiculé à son insertion tibiale replié en 4 brins avant d'être utilisé comme greffon(69). Le tunnel fémoral était borgne et mesurait 15mm. La fixation fémorale était réalisée par un endobouton et la fixation tibiale par une vis d'interférence résorbable. Si l'indication était retenue, une ténodèse latérale au gracilis

pouvait être réalisée(70-74). La seule différence entre les 2 techniques était le fait de laisser le DT pédiculé.

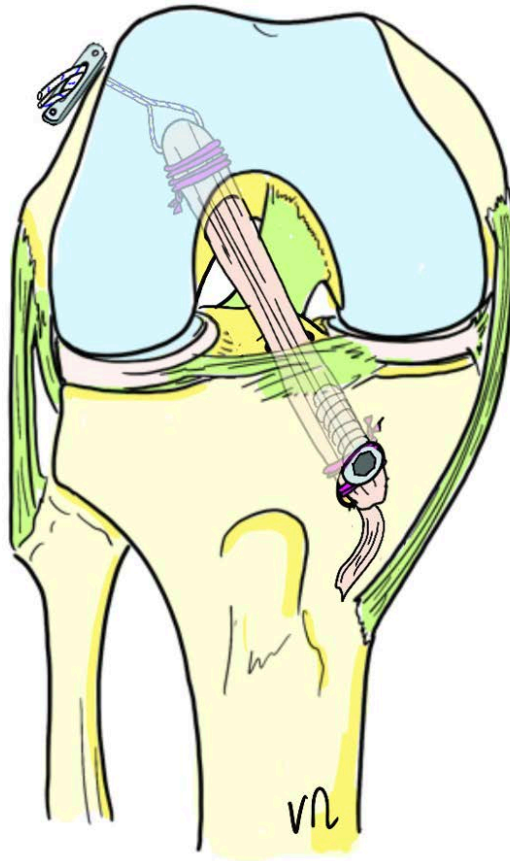


Figure 8 – Ligamentoplastie par une technique DT pédiculé

Tous les patients ont participé au même protocole de rééducation postopératoire. L'appui complet était autorisé immédiatement après la chirurgie. La physiothérapie a commencé le lendemain de la chirurgie ; la course était autorisée le troisième mois. Le retour aux sports de pivot et de contact était autorisé après que les résultats des tests isocinétiques aient été satisfaisants, généralement vers le septième mois.

Pour résumer, les patients de cette étude sont issus du même bassin de population et ont été opérés par le même chirurgien utilisant la même instrumentation, la même technique et avec un protocole de rééducation identique.

3.2.3 Critères de jugement

La ligamentisation représente l'évolution naturelle du greffon(63). Nous avons utilisé 3 critères IRM déjà validés pour évaluer l'incorporation de la greffe à 1 an : (1) le Signal to Noise Quotient (SNQ)(16,17,29,30,32-35,75,76) comme critère de jugement principal, (2) l'élargissement du tunnel tibial (ETT)(27,28,77), et la maturité du greffon (échelle de Howell) (29) comme critères de jugement secondaires. Il s'agit une méthodologie déjà utilisée et validée(63,78).

Nous avons effectué à 1 an de la chirurgie, une consultation de suivi avec un examen IRM du genou. Une unité d'IRM 3-T (Magnetom Skyra, Siemens) avec une bobine de réseau de volume à 15 canaux a été utilisée. Une séquence 3 plans avec suppression du signal graisseux pondérée en fonction de la densité de protons (DP-FS) et T1 ont été utilisées pour l'analyse. La formule utilisée pour le calcul du SNQ a été :

$$(1)SNQ = \frac{(\text{Signal du greffon} - \text{Signal du LCP})}{\text{Signal de fond}}$$

La mesure du signal du greffon s'est faite dans des régions d'intérêt circulaires (RIC) de 0,05cm² sur des images obliques, tangentes à la coupe transversale du ligament croisé antérieur, dans sa portion intra-articulaire sur 3 niveaux (distale, moyenne et proximale). Le signal du LCP a été mesuré dans sa partie centrale. Le signal de fond a été mesuré 2cm en avant du tendon rotulien. Ce paramètre met en évidence la résistance mécanique du greffon(29,32,63,75,76). (Figure 9)

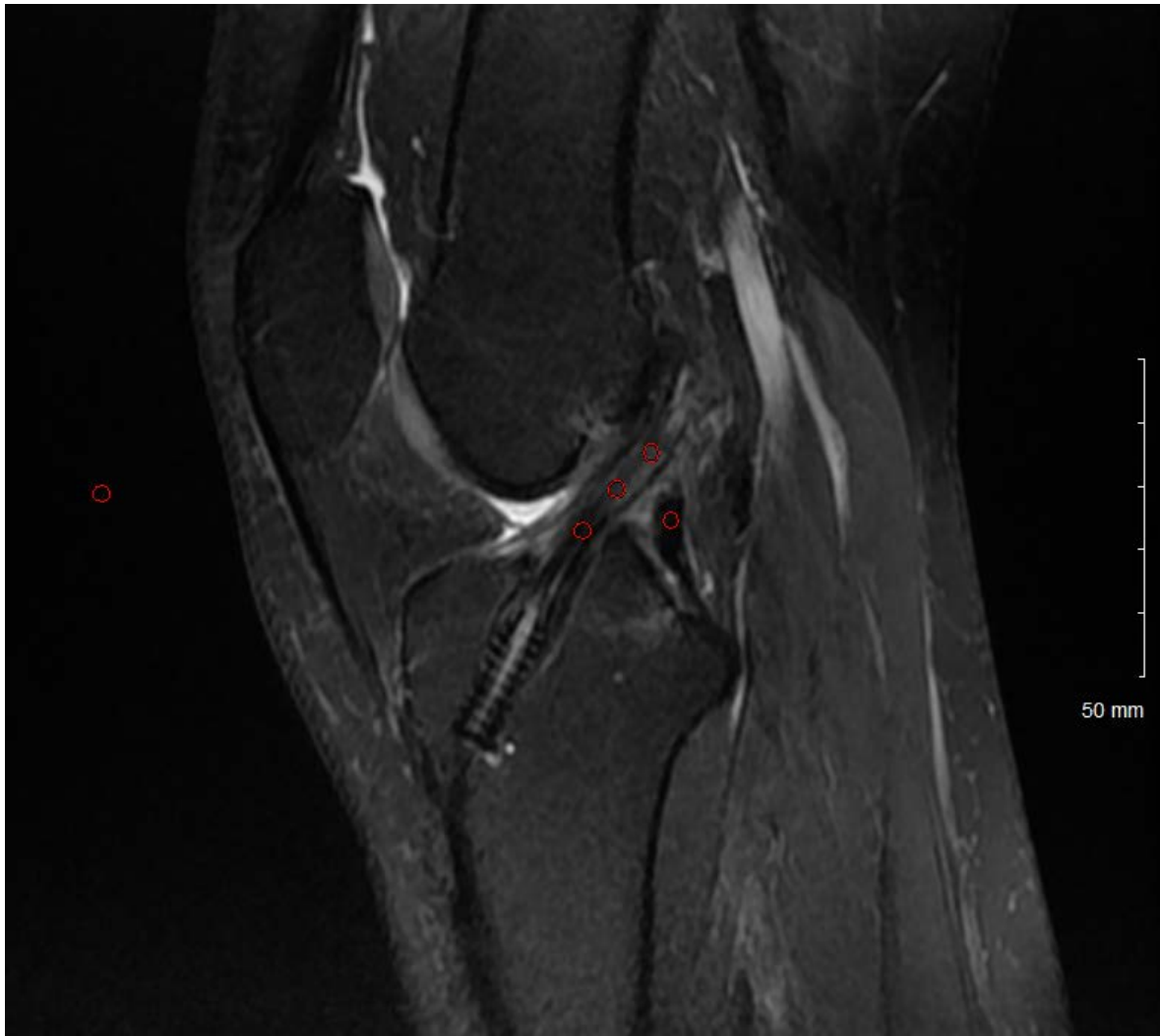


Figure 9 – Placement des RIC (0,05cm²) pour le calcul du SNQ ; 1 RIC 2cm en avant du Ligament Patellaire, 3 RIC (1 proximal-1 médian-1 distal) sur le Ligament Croisé Antérieur ; 1 RIC sur le Ligament Croisé Postérieur ; RIC, Région d’Intérêt Circulaire

L’élargissement du tunnel tibial a été calculé en mesurant la surface moyenne à l’entrée du tunnel tibial, sur des coupes IRM obliques, perpendiculaires à la coupe du tunnel. Nous avons utilisé un logiciel de post-traitement d’images (Terarecon) pour mesurer la surface de section transversale en cm² (Cross Sectionnal Area, CSA) du tunnel tibial à sa partie articulaire. L’axe perpendiculaire au greffon a été défini par reconstruction 3D. (Figure 10) La formule utilisée pour le calcul de l’élargissement du tunnel tibial (en pourcentage) était :

$$(2) \text{ETT} = \frac{\text{CSA mesuré} - \text{CSA foré}}{\text{CSA foré}} \times 100$$

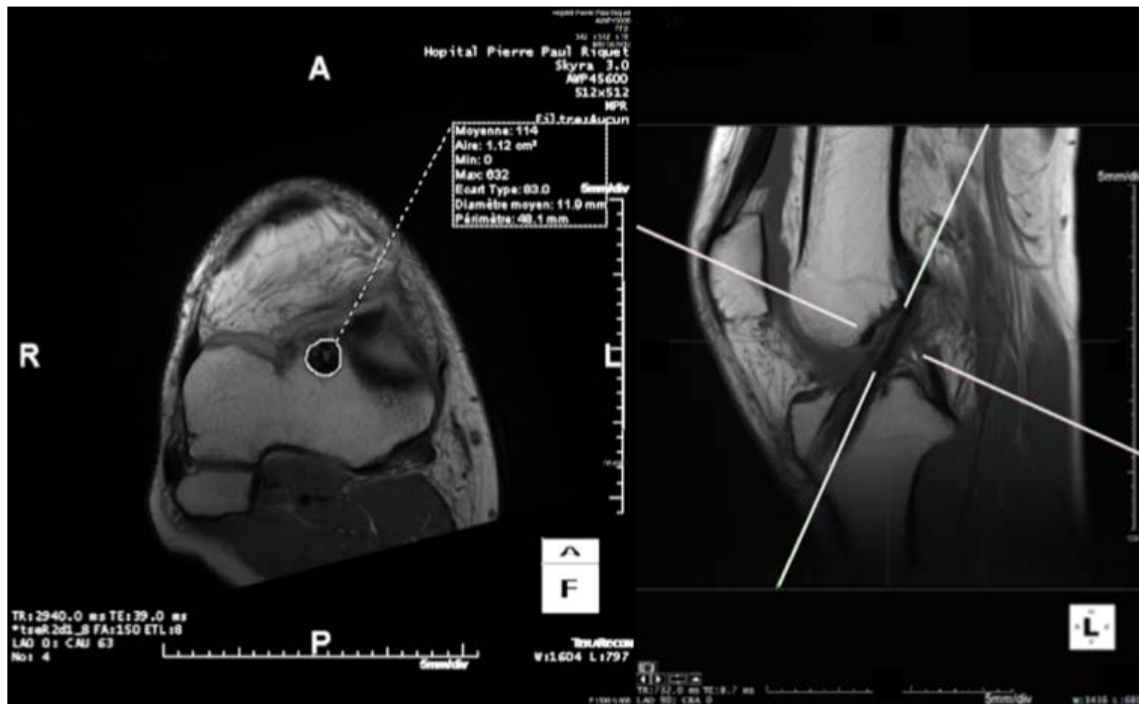


Figure 10 – Mesure de la surface de section transversale à l’entrée du tunnel tibial

La classification de Howell(29) a été utilisée pour évaluer l’intégration du greffon dans le tunnel tibial(16,17,79,80). Des reconstructions axiales et obliques ont également été utilisées pour se placer dans l’axe du greffon. Il s’agit d’une échelle en 4 stades : I=signal homogène de faible intensité indiscernable du LCP et du tendon rotulien, II=signal ligamentaire normal sur au moins 50% de son volume, III=augmentation de l’intensité du signal sur au moins 50 % de son volume, mêlée à des portions qui ont un signal ligamentaire normal, IV=augmentation diffuse de l’intensité du signal sans brins avec un aspect ligamentaire normal. (Figure 11)

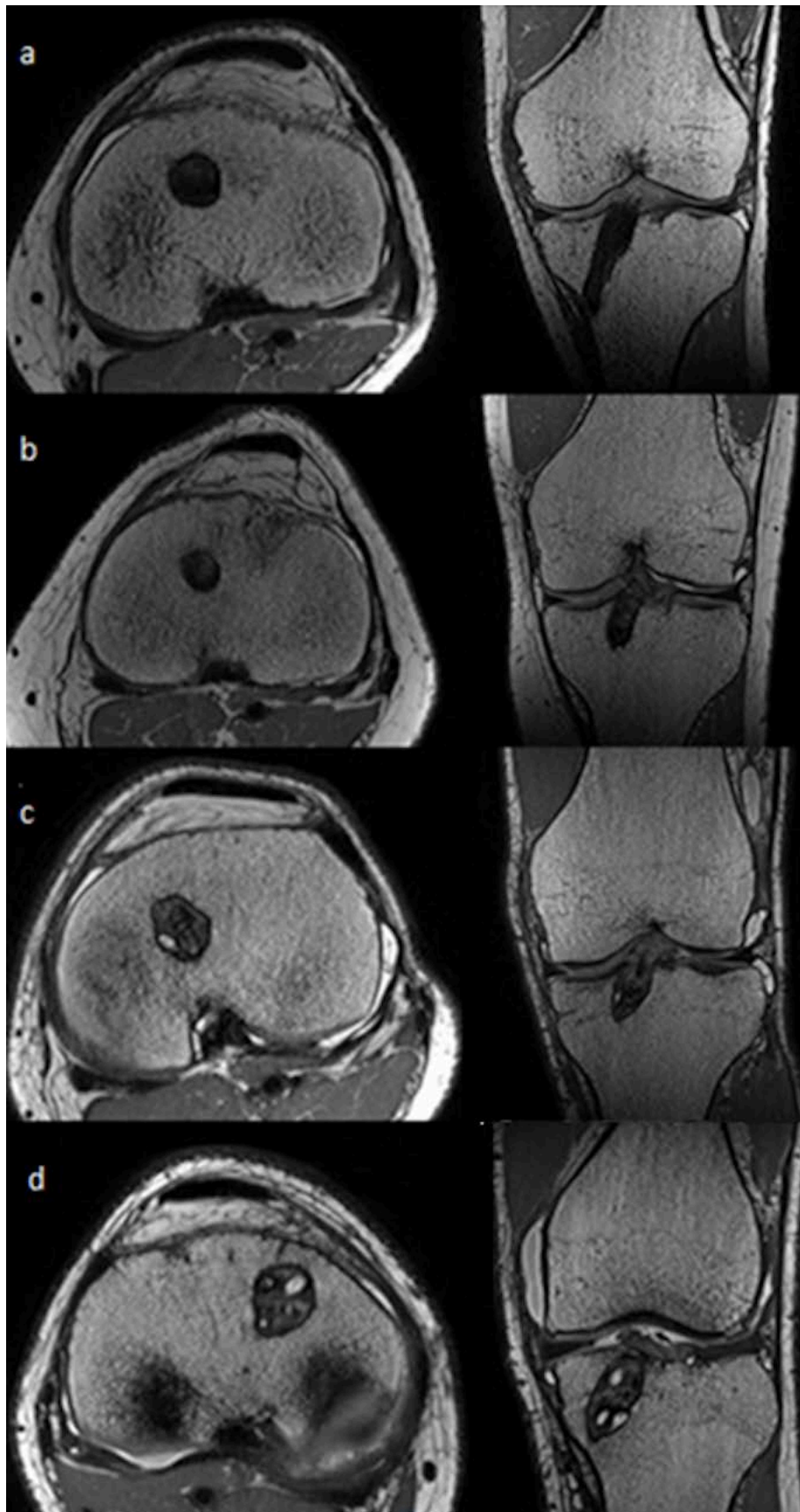


Figure 11 – Échelle de Howell – A : Stade I ; B : Stade II ; C : Stade III ; D : Stade IV

Lors de la consultation de suivi à 1 an, il a également été mesuré le nombre de ruptures(81) et le nombre de reprise chirurgicale.

Les résultats fonctionnels à 1 an comprenaient les scores subjectifs suivant : le SKV(25), le score de Lysholm, le Tegner post-opératoire, la différence de Tegner pré et post-opératoire, l'ACL-RSI et l'International Knee Documentation Committee (IKDC).

Il a également été évalué une éventuelle reprise du sport et le délai entre la chirurgie et la reprise du sport.

3.2.4 Analyse statistique

Il s'agit d'une étude de supériorité. Nous avons supposé que le SNQ serait plus faible dans le groupe DTp que dans le groupe DT. Cette étude est basée sur les résultats d'une étude précédente(63) : avec une différence attendue entre les moyennes de SNQ observées dans les 2 groupes de 3.2 (et un écart-type de 3.7) avec un risque alpha bilatéral de 5% , la puissance de l'étude incluant 180 patients (90 dans le groupe DTp et 90 dans le groupe DT) est supérieure à 95%.

Avant les analyses, une vérification des données manquantes ou aberrantes ou incohérentes a été effectuée. Après corrections, la base de données a été verrouillée. L'analyse a été effectuée sur la base de données verrouillée. Nous avons d'abord décrit les caractéristiques de base des patients de chaque groupe en utilisant les statistiques descriptives appropriées selon le type de variables. Les statistiques descriptives comprenaient la moyenne avec écart-type (SD) pour les variables continues et le nombre avec la fréquence (%) pour les variables catégorielles.

Le critère de jugement principal a été analysé en comparant, dans chaque groupe, le SNQ à 1 an. Le test de Mann-Whitney a été utilisé (car la distribution SNQ s'écartait de la normalité). Afin de tenir compte des caractéristiques de base déséquilibrées entre les groupes, le SNQ moyen ajusté a été évalué dans chaque groupe à l'aide d'un modèle de régression linéaire. Les critères d'évaluation secondaires catégoriels seront comparés entre les groupes à l'aide du test χ^2 (ou du test exact de Fisher si nécessaire). Le test t de Student sera utilisé pour comparer la distribution des paramètres secondaires continus (ou le test de Mann Whitney lorsque la distribution s'écarte de la normalité ou lorsque l'homoscédasticité est rejetée).

Toutes les valeurs p rapportées étaient bilatérales et le seuil de signification était $< 0,05$. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATA 17.0 (STATA Corp., College Station, TX, USA).

3.3 Résultats

Les 2 groupes étaient comparables (Tableau 3), sauf pour la présence d'une lésion du ligament antérolatéral, la réalisation d'une ténodèse latérale (plus fréquents dans le groupe DT classique) et le diamètre du greffon (plus petit dans le groupe DT classique). La comparaison du critère de jugement principal entre les groupes a donc été ajustée sur ces 3 variables.

Tableau 3. Caractéristiques des patients^a

	DT N=90	DT pédiculé N=90	P- Value
Age à la Chirurgie (ans)	27.20 (+/-9.37)	27.74 (+/-8.86)	.689
Sexe masculin, n (%)	52 (57.8)	59 (65.6)	.283
IMC (kg/m²)	23.75 (+/-4.15)	24.08 (+/-3.54)	.382
Tabac, n (%)	23 (25.6)	17 (18.9)	.282
Délai Lésion - Chirurgie (semaines)	26.24 (+/-37.85)	21.40 (+/- 24.40)	.290
TL, n(%)	73 (81.1)	46 (51.1)	<.0001
Diamètre du greffon (mm)	8.64 (+/-0.87)	9.02 (+/-0.73)	.001
Lésion MI, n (%)	13 (14.4)	8 (8.9)	.245
Lésion ME, n (%)	14 (15.6)	16 (17.8)	.689
Lésion LAL, n (%)	66 (73.3)	46 (51.1)	.002
Score de Tegner préopératoire (/10)	7.48 (+/- 2.01)	7.59 (+/-1.64)	.684

a. Les valeurs sont des moyennes +/- Standard Deviation sauf indication contraires.
IMC, Indice de Masse Corporelle – TL, Ténodèse Latérale – MI, Ménisque Interne – ME, Ménisque Externe – LAL, Ligament Antéro-Latéral

3.3.1 Signal-to-Noise Quotient

Le SNQ moyen était de 1.15 (+/-1.01) dans le groupe DT pédiculé et de 3.91 (+/-2.86) dans le groupe DT ($p < 0.0001$). Après ajustement sur la présence d'une lésion du ligament antérolatéral, la réalisation d'un retour externe et sur le diamètre du greffon, le SNQ moyen ajusté était de 1.18 (95% Confidence Interval : 0.72 – 1.65) dans le groupe DTp et de 3.88 (3.42 – 4.34) dans le groupe DT ($p < 0.001$). Le SNQ dans le groupe DTp est significativement inférieur à celui du groupe DT, suggérant une meilleure incorporation du greffon.

3.3.2 Objectifs secondaires (Tableau 4)

Le score de Lysholm moyen était de 95.96 (+/-5.98) dans le groupe DTp contre 94.11 (+/-6.12) dans le groupe DT (p=0.004). Dans le groupe DTp 2,2% de reprise chirurgicale est retrouvée (1 syndrome du cyclope et 1 arthro-lavage) contre 10% dans le groupe DT (2 syndrome du cyclope, 3 AOS d'endobouton fémoral, 2 mobilisations, 2 arthro-lavages) (p=0.029). Le délai moyen chirurgie – reprise du sport était significativement plus court dans le groupe DTp (248.73+/-141.62 jours) que dans le groupe DT (317.23+/-144.69 jours) (P=0.002).

Tableau 4. Critères de jugements secondaires^a

	DT	DT pédiculé	P Value
ETT (%)	73.03 (+/-40.18)	68.73 (+/-45.87)	.503
Score de Howell (médiane)	2.00	2.00	.149
Re rupture, n(%)	1 (1.1)	0 (0.0)	1
Reprise, n(%)	9 (10.0)	2 (2.2)	.029
SKV (0-100)	84.76 (+/-10.46)	87.79 (+/-11.16)	.061
Lysholm (0-100)	94.11 (+/-6.12)	95.96 (+/-5.98)	.004
Tegner Post op (0-10)	6.32 (+/-2.20)	6.64 (+/-2.14)	.320
Différence Tegner (pré/post op)	1.16 (+/-1.64)	0.94 (+/-1.65)	.317
ACL-RSI (0-100)	71.17 (+/-18.80)	75.91 (+/-19.28)	.097
IKDC (0-100)	89.36 (+/-9.86)	90.09 (+/-9.96)	.621
Reprise du sport n(%)	83 (92.2)	83 (92.2)	1
Délai chirurgie-reprise du sport (j)	317.23 (+/-144.69)	248.73 (+/-141.62)	.002

a. Les valeurs sont des moyennes +/- SD sauf indication contraires

ETT, Élargissement du Tunnel Tibial; SKV, Simple Knee; ACL-RSI, Anterior Cruciate Ligament-Return to Sport after Injury (ACL-RSI) scale Value; IKDC, International Knee Documentation

3.4 Discussion

L'hypothèse est confirmée, les greffons au semi-tendineux ont une meilleure incorporation lorsqu'ils sont pédiculés. Il s'agit de la première étude comparant les résultats des greffons aux ischio-jambiers DT pédiculés vs DT standard.

De nos jours, la meilleure évaluation de l'incorporation d'un greffon non invasive se fait par IRM^{10,14,20,38,42,44,50,51}. Selon Weiler et al(32), les changements d'intensité du signal IRM au cours du temps représentent le processus d'incorporation de la greffe. Le SNQ est une mesure validée et reproductible qui reflète les propriétés mécaniques du greffon. Le SNQ a une corrélation linéaire négative significative avec la charge à la rupture et la résistance à la traction(75).

Dans notre étude, nous retrouvons un SNQ moyen à 1 an statistiquement inférieur lorsque le greffon DT est laissé pédiculé à son insertion tibiale (1.18 vs 3.88, $P < 0.001$). Cela suggère une meilleure incorporation du greffon. Nos résultats retrouvés avec la technique DT pédiculé sont en accord avec les résultats des technique DI-DT pédiculés(52,54,57). Il s'agit de la première étude comparant une technique utilisant uniquement le DT pédiculé et le DT classique pour la reconstruction du LCA.

Nous n'avons pas comparé nos résultats de SNQ aux autres études déjà publiées car il s'agit d'un paramètre calculé qui est dépendant de la machine et du logiciel utilisés. Ceci est valable pour l'ensemble des critères IRM utilisant le signal du greffon(31).

L'ETT (73.03 vs 68.73, $p=0.503$) et l'échelle de Howell avec un score médian à 2 ($p=0.149$), critères de jugement secondaires d'incorporation du greffon à l'IRM que nous avons

évalué, n'ont pas été statistiquement significatif en faveur de la technique DT4p. Cependant, les résultats obtenus sont au moins aussi bons dans les 2 groupes. De plus, nous pensons que le SNQ a une meilleure valeur car il considère la greffe dans sa portion intra-articulaire et non uniquement à l'entrée du tunnel tibial, et est plus fiable que l'évaluation selon l'échelle de Howell, qui peut être sujette à interprétation.

Contrairement à notre étude qui compare des techniques au DT isolé, plusieurs études ont évalué des techniques aux ischio-jambiers utilisant le demi-tendineux et le droit-interne (DI-DT) pédiculés. Ruffilli et al(57) ont retrouvé un meilleur score moyen de ligamentisation (2.1 ± 0.6 vs 1.7 ± 0.6) avec une différence statistiquement significative en faveur de la technique préservant l'insertion tibiale des tendons ischio-jambiers. Sur des résultats IRM à 6 mois et 1 an de la chirurgie, Liu et al(54) dans une étude contrôlée randomisée, retrouvent un SNQ intra-articulaire moyen significativement inférieur à 6 mois (14.9 vs 25.6, $P=0.002$) et à 12 mois (12.6 vs 18.3, $P=0.02$). Récemment, Grassi et al(52) ont comparé le SNQ moyen du greffon à l'intérieur du tunnel tibial à 18 mois avec une technique DI-DT simple brin pédiculée avec plastie latérale vs une technique DI-DT 4 brins standard. Les résultats sont également en faveur de la technique pédiculée avec un SNQ moyen statistiquement inférieur (0.15 vs 1.61, $p=0.015$). Cette meilleure incorporation peut être expliquée par plusieurs raisons. L'une d'entre elle est que le fait de préserver l'insertion tibiale du greffon permet une meilleure vascularisation de ce dernier via les réseaux vasculaires à son insertion. Zaffagnini et al(14), dans leur étude anatomique, décrivaient déjà l'aspect macroscopique et histologique des tendons de la patte d'oie. On y retrouve un apport vasculo-nerveux important avec un calibre de vaisseaux décroissant entre l'insertion tibiale et la partie moyenne du tendon. Une autre raison pourrait être que le fait de laisser le tendon pédiculé permet d'obtenir une double fixation tibiale (vis et insertion native), et ainsi apporter plus de stabilité au montage. En

effet, lors d'une étude réalisée sur des lapins, Liu et al(82) ont comparé la résistance biomécanique de greffons avec ou sans préservation de leur insertion tibiale à 3, 6, 12 et 24 semaines post-opératoires. La charge maximale (en Newton) supportée par le greffon avant rupture est à chaque fois supérieure dans le groupe pédiculé, avec une différence statistiquement significative à 12 (44.54 vs 25.04, P=0.0313) et 24 semaines (56.34 vs 37.10 ; P=0.0343). Ainsi la fixation physiologique du greffon serait plus solide qu'avec une vis d'interférence. Ceci pourrait expliquer la tendance retrouvée dans notre étude, montrant que le taux de re rupture et de reprise chirurgicale était plus bas dans le groupe DT pédiculé. L'utilisation de techniques DI-DT pédiculés permet de conserver 2 accroches osseuses, contrairement à notre technique DTp. C'est pourquoi nous devons également vérifier si l'incorporation du greffon était également meilleure lorsqu'un seul tendon ischio-jambier était laissé pédiculé.

Dans notre étude, les résultats fonctionnels à 1 an de la chirurgie sont tous supérieurs dans le groupe DT pédiculé. Cependant les différences entre les scores des 2 groupes sont minimes. Ceci est concordant avec les résultats retrouvés dans la littérature avec les techniques DI-DT(15,52-58). Il apparaît difficile de montrer des différences statistiquement significatives sur les résultats fonctionnels entre les différentes techniques du fait de résultats déjà très bons dans la littérature actuelle(50,51,59,60).

Putnis et al(68) ont montré une relation de cause à effet directe entre un ratio d'intensité du signal (SIR) IRM à 1 an élevé et le taux de re-rupture du greffon. Dans sa série de 250 IRM, une augmentation du SIR de 1 correspond à une augmentation du risque de rupture du greffon de 40%. Sur une évaluation IRM à 1 et 2 ans, Putnis et al(67) n'ont pas retrouvé pas de changement majeur en terme de SIR. Cela suggère que le processus de

ligamentisation se fait essentiellement lors de la 1^{ère} année, et que celui-ci est directement en lien avec le risque de rupture du greffon.

Nos résultats montrent une reprise du sport en moyenne plus rapide dans le groupe DT pédiculé (248.73 vs 317.23 jours, $p=0.002$), ce qui pourrait être en rapport avec un processus de ligamentisation plus rapide. Il apparaît intéressant de réfléchir à une personnalisation de la reprise sportive en post-opératoire en fonction de l'aspect IRM du greffon. Putnis et al(68) ont démontré que les patients ayant un signal IRM plus élevé étaient à plus haut risque de re-rupture lors de la reprise sportive. Cependant aucune étude ne s'intéresse spécifiquement à la possible reprise sportive en fonction du signal IRM.

Notre étude présente plusieurs limites. Premièrement, les groupes n'étaient pas parfaitement comparables notamment en ce qui concerne la réalisation d'une ténodèse latérale lors de la chirurgie. Cavaignac et al(17) ont démontré que l'ajout d'une ténodèse latérale améliorait l'incorporation du greffon à 1 an. Le groupe DT non pédiculé présentait un nombre supérieur de ténodèse latérale (73 vs 51%). C'est pourquoi les résultats du SNQ moyen ont été ajustés sur les facteurs déséquilibrés entre les groupes et ont montré malgré tout une différence entre les groupes (1.18 vs 3.88, $P<0.001$). Deuxièmement, les analyses IRM ont été réalisées par un seul observateur, ce qui peut conduire à un biais d'interprétation. Cependant, il a été montré que le SNQ était une technique fiable et reproductible pour l'évaluation de l'intégration du greffon, avec une variabilité intra-observateurs faible(16,17). Troisièmement, la durée d'étude d'1 an post opératoire est faible en comparaison à d'autres études avec un suivi moyen plus élevé(34,35,52,60). La faible durée de suivi ne nous permet pas d'avoir un recul suffisant sur le taux de rupture du greffon (1 dans le groupe DT et 0 dans le groupe DTp, $P=1.000$). Il serait intéressant de

comparer à long terme ce paramètre pour évaluer la solidité du montage. Cependant, notre recul est suffisamment important pour dégager des résultats en terme de ligamentisation. Quatrièmement, les patients n'ont pas bénéficié d'une randomisation lors de leur inclusion. Ceux ayant bénéficié de la technique DT non pédiculé ont été opérés avant ceux qui ont bénéficié de la technique DT pédiculé. Quoiqu'il en soit, les facteurs déséquilibrés entre les 2 groupes ont été pris en compte par une analyse ajustée et les patients ont été opérés par le même chirurgien expérimenté sur une courte période. Cinquièmement, il s'agit d'une étude monocentrique avec la technique pratiquée par un seul chirurgien. Il aurait été intéressant de regrouper la même technique, pratiquée par plusieurs chirurgiens dans d'autres centres afin d'améliorer la validité externe de cette étude.

Les forces de cette étude sont sa qualité méthodologique, le nombre relativement important de patients dans chaque groupe par rapport aux études retrouvées déjà publiées(16,17,35,52-55,57,58), basé sur un calcul de taille d'étude reposant sur des hypothèses préétablies issues de données publiées (Evidence Based Medicine) et le fait que la chirurgie ait été réalisée par un seul chirurgien avec une technique opératoire identique entre les patients de chaque groupe.

3.5 Conclusion

A 1 an post-opératoire, l'incorporation IRM d'un greffon au demi-tendineux est meilleure lorsqu'il est pédiculé. Cette meilleure ligamentisation pourrait expliquer une reprise du sport plus rapide.

4 Partie 3 - Étude des facteurs influençant l'incorporation d'un greffon de ligament croisé antérieur (LCA).

4.1 Objectif et Hypothèse

Le but de cette étude est d'identifier, à l'aide du SNQ mesuré à l'IRM, quels peuvent être les facteurs influençant l'incorporation du greffon. L'hypothèse est que « l'exposition » à certains facteurs peut influencer positivement ou négativement l'incorporation du greffon.

4.2 Méthode

Il s'agit d'une étude analytique prospective recherchant une association entre des facteurs d'exposition et la survenue d'un « événement » (l'incorporation du greffon mesurée par la valeur du SNQ). Il a été réalisé un recrutement prospectif des patients traités selon le soin courant. Les patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA dans notre centre entre juillet 2019 et février 2020 ont été invité à participer à cette étude. L'étude a été approuvée par notre RnIPH 2021.

4.2.1 Patients

Durant la période d'étude, les mêmes 205 patients que dans la partie 2 avec une rupture du LCA ont été éligibles à une reconstruction. Les critères d'inclusion et d'exclusion étaient également les mêmes. Pour rappel, sur les 205 patients, 12 n'ont pas bénéficié d'une technique de reconstruction par DT isolé (3 DIDT, 8 techniques au Fascia Lata, 1

TQ), 4 avaient une lésion du LCP et 9 patients ne se sont pas présentés en consultation de suivi à 1 an (Figure 11).

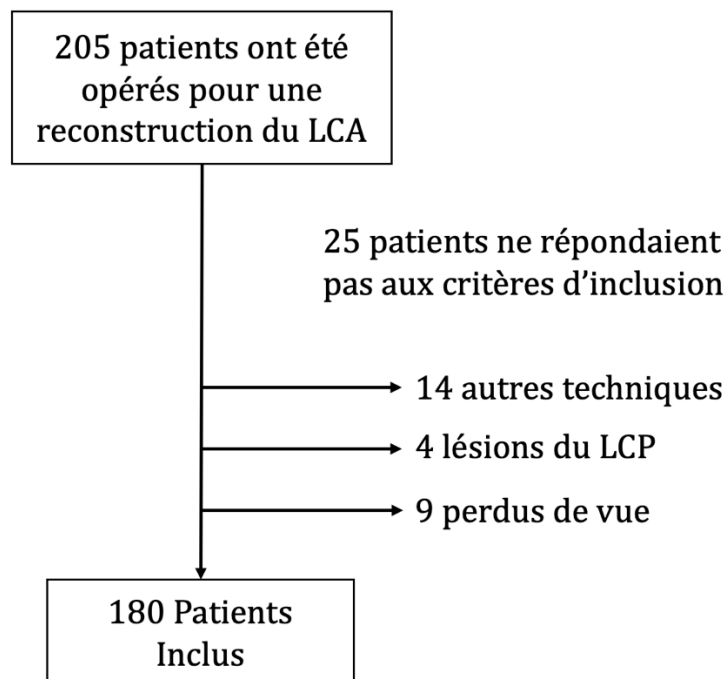


Figure 12 - Diagramme de flux : recrutement des patients entre juillet 2019 et février 2020 – LCA, Ligament Croisé Antérieur ; LCP, Ligament Croisé Postérieur ; DT, Demi-Tendineux

4.2.2 Évaluation des patients

Les patients ont été revus en consultation à 1 an de recul par le chirurgien. Il était réalisé un examen clinique classique ainsi qu'une IRM de contrôle.

4.2.3 Critères de jugement

L'évaluation de l'incorporation du greffon a été faite par IRM, à 1 an post opératoire, par le biais du calcul du SNQ précédemment décrit (Figure 9).

4.2.4 Facteurs d'exposition

Les facteurs potentiellement associés au SNQ à 1 an étudiés sont les suivants : le sexe, le tabagisme actif, l'âge, l'Indice de Masse Corporelle (IMC), le délai entre la lésion initiale et la chirurgie, le délai entre la chirurgie et la reprise du sport, le type de sport pratiqué avant la chirurgie (ligne, pivot, pivot-contact), le type de chirurgie (DT classique ou DT pédiculé) et la réalisation d'un retour externe.

4.2.5 Analyse statistique

Avant les analyses, une vérification des données manquantes ou aberrantes ou incohérentes a été effectuée. Après corrections, la base de données a été verrouillée. L'analyse a été effectuée sur la base de données verrouillée. Nous avons d'abord décrit les caractéristiques de base des patients en utilisant les statistiques descriptives appropriées selon le type de variables. Les statistiques descriptives comprenaient la moyenne avec écart-type (SD) pour les variables continues et le nombre d'observations non manquantes avec la fréquence (%) pour les variables catégorielles.

L'analyse des facteurs associés au SNQ s'est d'abord basée sur la comparaison du SNQ entre groupes à l'aide des tests de Mann-Whitney ou de Kruskal-Wallis (selon le nombre de groupes). Comme l'association entre les variables continues et le SNQ n'était pas linéaire, les variables continues ont été analysées en utilisant la méthode des quartiles. Les variables significativement associées au SNQ en analyse univariée (au seuil $<0,20$) ont été introduites dans un modèle de régression linéaire. Le modèle final comprenant les variables significativement (au seuil $<0,05$) et indépendamment associées au SNQ a été obtenu par une méthode « pas à pas, descendant ». Les modèles imbriqués intermédiaires

ont été comparés à l'aide du test du rapport de vraisemblance. Les interactions entre les variables indépendantes du modèle final ont été évaluées (mais aucune interaction n'était significative). L'adéquation du modèle aux données a été testée. Toutes les valeurs p rapportées étaient bilatérales et le seuil de signification était < 0,05. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATA 17.0 (STATA Corp., College Station, TX, USA).

4.3 Résultats

Un total de 180 patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA ont été inclus dans l'étude. Les caractéristiques des patients sont décrites dans le Tableau 5.

Tableau 5 - Caractéristiques des patients^a

	N = 180 patients
Age à la Chirurgie (ans)	27.47 (+/- 9.10)
Sexe masculin/féminin, n (%)	111 (61.7) / 69 (38.3)
IMC (kg/m²)	23.91 (+/-3.85)
Tabac, n (%)	40 (22.2)
Délai Lésion - Chirurgie (semaines)	26.24 (+/-37.85)
Diamètre du greffon (mm)	8.83 (+/-0.82)
Lésion MI, n (%)	21 (11.7)
Lésion ME, n (%)	30 (16.7)
Lésion LAL, n (%)	112 (62.2)
Score de Tegner préopératoire (/10)	7.53 (+/- 1.83)
DT(n)/DTp(n)	90/90
RE, n(%)	119 (66.1)
SNQ à 1 an post-opératoire	2.53 (+/-2.55)

a. Les valeurs sont des moyennes +/- Standard Deviation sauf indications contraires.

IMC, Indice de Masse Corporelle – RE, Retour Externe – MI, Ménisque Interne – ME, Ménisque Externe – LAL, Ligament Antéro-Latéral – SNQ, Signal To Noise Quotient

Les potentielles associations entre les éventuels facteurs de risques et la valeur du SNQ ont été recherchées.

En analyse univariée, au seuil de 0.05, il n'y avait pas d'association significative entre le sexe, le tabac, l'IMC, le délai lésion-chirurgie, le type de sport pratiqué et la valeur du SNQ. L'âge ($p=0.0012$), le délai chirurgie-reprise du sport ($p=0.0235$), la chirurgie DTp ($p<0.0001$) et la réalisation d'un RE ($p<0.001$) étaient significativement associés au SNQ. (Tableau 6)

Tableau 6. Analyse Univariée des facteurs potentiellement associés au SNQ à 1 an

Facteur		SNQ		
		Médiane	SD	p
Sexe	<i>Femme</i>	2.31	2.25	0.430
	<i>Homme</i>	2.67	2.72	
Tabac	<i>Fumeur</i>	2.80	2.67	0.432
	<i>Non-fumeur</i>	2.46	2.52	
Age	<i>1^{er} quartile</i>	3.10	2.20	0.0051
	<i>2nd quartile</i>	3.10	3.10	
	<i>3^{ème} quartile</i>	1.80	1.80	
	<i>4^{ème} quartile</i>	2.20	2.70	
IMC	<i>1^{er} quartile</i>	2.40	2.00	0.7976
	<i>2nd quartile</i>	2.30	2.20	
	<i>3^{ème} quartile</i>	3.00	3.30	
	<i>4^{ème} quartile</i>	2.50	2.50	
Délai lésion-chirurgie	<i>1^{er} quartile</i>	3.20	3.20	0.1273
	<i>2nd quartile</i>	2.00	2.40	
	<i>3^{ème} quartile</i>	2.30	2.30	
	<i>4^{ème} quartile</i>	2.50	2.00	
Délai chirurgie-reprise du sport	<i>1^{er} quartile</i>	1.80	2.20	0.0853
	<i>2nd quartile</i>	2.40	2.20	
	<i>3^{ème} quartile</i>	2.90	2.60	
	<i>4^{ème} quartile</i>	2.80	2.70	
Type de sport	<i>Ligne</i>	3.30	3.30	0.2109
	<i>Pivot</i>	2.80	2.60	
	<i>Pivot-contact</i>	2.30	2.40	
Type de chirurgie	<i>DT</i>	3.91	2.86	<0.001
	<i>DTp</i>	1.15	0.85	
RE	<i>Oui</i>	2.98	2.64	<0.001
	<i>Non</i>	1.65	2.11	

RE, Retour Externe – p, p-value – DT, Demi-Tendineux – DTp, Demi-Tendineux pédiculé - IMC,

Indice de Masse Corporelle

L'analyse multivariée (Tableau 7) a montré que l'âge plus élevé à la chirurgie (*Q3-Q4 vs Q1-Q2* ; $\beta=-.7948476$; $p=0.012$), le délai lésion initiale – chirurgie plus long (*Q2-Q3-Q4 vs Q1* ; $\beta=-.7137424$; $p=0.046$) et la chirurgie DT pédiculé ($\beta=-2.624668$; $p<0.001$) sont des facteurs protecteurs d'une bonne incorporation du greffon.

Tableau 7. Analyse Multivariée des facteurs indépendamment et significativement associés au SNQ

	Coefficient β	P-value	IC 95%
<i>Chirurgie DTp (vs DT)</i>	-2.62	<0.001	-3.25 ; -2.00
<i>Age (Q3-Q4 vs Q1-Q2)</i>	-0.79	0.012	-1.42 ; -0.17
<i>Dél. L-C (Q2-Q3-Q4 vs Q1)</i>	-0.71	0.046	-1.41 ; -0.01

IC, Intervalle de Confiance ; Age, âge à la chirurgie ; Dél. L-C, Délai lésion-chirurgie ; Q, Quartile

4.4 Discussion

L'hypothèse est confirmée, plusieurs facteurs influencent la qualité de l'incorporation du greffon. Un âge élevé, un délai lésion-chirurgie élevé et laisser le DT pédiculé sont des facteurs significativement et indépendamment associés à un SNQ bas reflétant une meilleure incorporation du greffon.

Laisser le DT pédiculé était attendu comme étant un facteur influençant l'incorporation du greffon. Vari et al (Laisser pédiculé le DT améliore l'incorporation de la greffe lors de la chirurgie du LCA, AJSM, Under Review) ont montré une meilleure incorporation du greffon lorsque l'insertion tibiale du greffon est préservée. Les résultats IRM et fonctionnels de greffons aux ischio-jambiers pédiculés sont évalués depuis plusieurs

années(15,49–60,83). Ceci est dû à une meilleure vascularisation(12,13,22) et une double fixation-tibiale permettant une résistance accrue du greffon(61,82). Nous pensons également que les techniques chirurgicales préservant le « remnant » de LCA dans l'échancrure induit une meilleure cicatrisation et incorporation du greffon de par son apport d'éléments nerveux, vasculaires et fibroblastiques(12,84).

Les ruptures de greffon après une reconstruction du LCA sont liées à l'intensité du traumatisme responsable mais également à l'incorporation même de ce greffon. Ménétrey et al(43) ont été les premiers à décrire le concept d' « échec biologique » d'intégration d'un greffon de LCA. De nombreux facteurs tels que l'extension nécrotique de la greffe, les perturbations de la vascularisation et la prolifération cellulaire peuvent être responsables d'échec d'incorporation. C'est pourquoi il est nécessaire d'éviter tout ce qui peut nuire à ce processus. La bonne incorporation du greffon est lié aux phénomènes biologiques responsables de la ligamentisation du greffon décrite par Weiler et al(32).

Dans notre étude, nous ne retrouvons pas le sexe féminin comme étant un facteur de risque de mauvaise incorporation du greffon. Kiapour et al(42) ont montré dans leur étude animale chez le cochon que le LCA chez le sexe féminin supportaient moins de charge (difference, 117 ± 91 N; ratio, 0.93; effect size, 0.6; $p = 0.215$) et avaient une différence de laxité antérieure d'un côté à l'autre supérieure à 30° (0.7 ± 0.3 mm; ratio, 1.32; effect size, 1.1; $p = 0.033$) et 90° de flexion (0.5 ± 0.2 mm; ratio, 1.24; effect size, 1.1; $p = 0.034$) par rapport au sexe masculin. Ceci pourrait être expliqué par la présence de récepteurs spécifiques à la relaxin, hormone induisant une laxité ligamentaire supérieure, présents uniquement chez le sexe féminin(40). Nous pensons que ces résultats peuvent s'expliquer par deux raisons, soit que le sexe féminin n'est pas un facteur de risque de mauvaise incorporation du greffon, soit que les variations hormonales chez la femme

influencent effectivement la valeur du SNQ. Mok et al(85) ont montré dans leur revue systématique de la littérature qu'il n'y avait pas de différence significative entre les hommes et les femmes pour le taux de reprise chirurgicale de reconstruction du LCA (odds ratio, 0,85 [IC 95 %, 0,45-1,60] ; P = 0.61 ; I² = 0%) et que le taux de re-rupture était significativement plus élevé chez les hommes que chez les femmes (odds ratio, 1,35 [IC à 95 %, 1,22-1,50] ; P < 0,01 ; I² = 0%).

Notre étude ne retrouve pas le tabac comme étant un facteur de risque de mauvaise incorporation du greffon. Mais l'on comprend facilement l'influence négative que peut avoir le tabac et la nicotine sur la mauvaise cicatrisation cutanée(86), osseuse(87), la micro-vascularisation, l'angiogenèse et la prolifération cellulaire. Karim et al(88) dans leur étude retrouvent un score IKDC moyen en post-opératoire inférieur chez les patients fumeurs (60.8 vs 70.1 ; p<0.001). Notre étude manque peut-être de puissance pour le démontrer.

Dans notre étude, nous trouvons que l'incorporation du greffon est meilleure à 1 an lorsque l'âge est plus élevé (r = -0.7948476 ; p=0.012). Il s'agit d'un facteur non modifiable sur lequel nous ne pouvons pas agir. Nos résultats sont en accord avec Pullen et al.(89) qui retrouvent un âge >= 35 ans comme étant un facteur protecteur de rupture du greffon. Ceci est peut-être dû à un niveau d'activité quotidienne et sportive inférieur et moins intense. Il serait intéressant de comparer de plus grandes cohortes en les séparant par tranche d'âge pour confirmer ou infirmer cette hypothèse.

Un délai lésion-chirurgie plus long a été retrouvé comme étant un facteur de meilleure incorporation du greffon (r=-1.351043 ; p=0.022). Ceci peut être en rapport avec une réponse inflammatoire augmentée en post-lésionnel immédiat(90). Pratiquer une

chirurgie trop rapide peut déclencher un nouveau cycle inflammatoire possiblement délétère pour la cicatrisation(91). De plus, il est également possible que les patients opérés avec un délai post-lésionnel réduit n'aient pas totalement récupéré le contrôle du quadriceps (concept d'Arthrogenic Muscle Inhibition)(92), induisant un déficit d'extension à l'origine de complications post-opératoires(93,94).

Nous pensons également que le fait de conserver le ligament croisé « remnant » lors de la chirurgie est un facteur essentiel permettant une bonne intégration du greffon. Nous n'avons pas évalué ce critère car nous essayons systématiquement d'en conserver le plus possible(12). L'enjeu majeur lors d'une chirurgie de reconstruction du LCA de nos jours est de rester le plus conservateur et le plus « biologique » possible(95) : préserver l'insertion tibiale du greffon(12,69) (apport de vascularisation, d'innervation et de fixation supplémentaire), conserver le maximum de LCA « remnant »(84), tunnel tibial qui n'a pas besoin d'être très long(16) ou encore préserver les fibres de Sharpey qui sont à la connexion avec le tissu osseux.

Cette étude présente plusieurs limites. Premièrement, il s'agit d'une étude monocentrique avec un recrutement majoritaire dans le sud-ouest de la France, ce qui peut entraîner un biais de sélection éventuel. Deuxièmement, le calcul du SNQ a été réalisé à 1 an post-opératoire, ce qui n'a pas permis de dégager de résultats suffisants en termes de re-rupture (1 re-rupture), facteur le plus démonstratif d'une mauvaise incorporation du greffon. Il paraît intéressant de suivre ces patients à plus long terme pour définir des facteurs de risque en lien avec des critères cliniques tels que la re-rupture ou l'instabilité plutôt qu'un résultat IRM. C'est ce qu'ont fait Putnis et al.(68) : il a été montré qu'en terme de critère IRM, une analyse à 1 an était suffisante pour prédire le risque de re-rupture à plus long terme.

Les forces de cette étude sont ses qualités méthodologiques, le fait que les patients aient tous bénéficié du même protocole en post-opératoire, ainsi qu'une chirurgie et une consultation à 1 an faite par le même chirurgien. Nous pouvons souligner également le nombre plus important de patients inclus dans cette étude des facteurs de risque.


4.5 Conclusion

Un âge élevé, un délai lésion-chirurgie élevé et laisser le DT pédiculé sont des facteurs protecteurs d'une bonne incorporation du greffon.

5 Conclusion

Ces travaux permettent d'apporter les réponses suivantes aux questions posées initialement :

- Les techniques aux ischio-jambiers pédiculés donnent des résultats au moins équivalents aux techniques aux ischio jambiers non pédiculés, avec une tendance à une meilleure stabilité et un taux de re-rupture plus faible.
- A 1 an post-opératoire, l'incorporation IRM d'un greffon au demi-tendineux seul est meilleure lorsqu'il est pédiculé.
- Laisser le DT pédiculé, un âge élevé et un délai lésion-chirurgie élevé sont des facteurs protecteurs d'une bonne incorporation du greffon


Professeur Pierre MANSAT
RPPS : 10000859054
Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Hôpital Pierre-Paul Riquet
Place du Docteur Baylac - TSA 40031
31059 TOULOUSE CEDEX 9

Vu et permis d'imprimer
Le Président de l'Université Toulouse III – Paul Sabatier
Faculté de Santé
Par délégation,
Le Doyenne-Directrice
Du Département de Médecine, Maternité, Paramédical
Professeure Odile RAUZY



6 Bibliographie

1. Bram JT, Magee LC, Mehta NN, Patel NM, Ganley TJ. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* juin 2021;49(7):1962-72.
2. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, Huston LJ, MOON Consortium, Spindler KP, et al. Risk Factors and Predictors of Subsequent ACL Injury in Either Knee After ACL Reconstruction: Prospective Analysis of 2488 Primary ACL Reconstructions From the MOON Cohort. *Am J Sports Med.* juill 2015;43(7):1583-90.
3. Montalvo AM, Schneider DK, Yut L, Webster KE, Beynon B, Kocher MS, et al. "What's my risk of sustaining an ACL injury while playing sports?" A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* août 2019;53(16):1003-12.
4. 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.
5. Cerulli G, Zamarra G, Vercillo F, Pelosi F. ACL reconstruction with "the original all-inside technique". *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* mai 2011;19(5):829-31.
6. Crawford C, Nyland J, Landes S, Jackson R, Chang HC, Nawab A, et al. Anatomic double bundle ACL reconstruction: a literature review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 7 août 2007;15(8):946-64.
7. 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.
8. Samuelson BT, Webster KE, Johnson NR, Hewett TE, Krych AJ. Hamstring Autograft versus Patellar Tendon Autograft for ACL Reconstruction: Is There a Difference in Graft Failure Rate? A Meta-analysis of 47,613 Patients. *Clin Orthop.* oct 2017;475(10):2459-68.
9. Roger J, Bertani A, Vigouroux F, Mottier F, Gaillard R, Have L, et al. ACL reconstruction using a quadruple semitendinosus graft with cortical fixations gives suitable isokinetic and clinical outcomes after 2 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* août 2020;28(8):2468-77.
10. Kim SJ, Kim HK, Lee YT. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous hamstring tendon graft without detachment of the tibial insertion. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* oct 1997;13(5):656-60.
11. Marcacci M, Molgora AP, Zaffagnini S, Vascellari A, Iacono F, Presti ML. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* mai 2003;19(5):540-6.
12. Sonnery-Cottet B, Freychet B, Murphy CG, Pupim BHB, Thaunat M. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Preservation: The Single-Anteromedial Bundle Biological Augmentation (SAMBBA) Technique. *Arthrosc Tech.* déc 2014;3(6):e689-93.
13. Zaffagnini S, Marcheggiani Muccioli GM, Bonanzinga T, Nitri M, Grassi A, Marcacci M. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction leaving hamstrings tibial insertion intact: technical note. *Musculoskelet Surg.* avr 2013;97(1):39-43.
14. Zaffagnini S, Golanò P, Farinas O, Depasquale V, Strocchi R, Cortecchia S, et al. Vascularity and neuroreceptors of the pes anserinus: Anatomic Study: Vascularity of Pes Anserinus. *Clin Anat.* janv 2003;16(1):19-24.
15. Ruffilli A, Traina F, Evangelisti G, Borghi R, Perna F, Faldini C. Preservation

of hamstring tibial insertion in anterior cruciate ligament reconstruction: a review of the current literature. *Musculoskelet Surg.* août 2015;99(2):87-92.

16. Cavaignac E, Marot V, Faruch M, Reina N, Murgier J, Accadbled F, et al. Hamstring Graft Incorporation According to the Length of the Graft Inside Tunnels. *Am J Sports Med.* févr 2018;46(2):348-56.

17. Cavaignac E, Mesnier T, Marot V, Fernandez A, Faruch M, Berard E, et al. Effect of Lateral Extra-articular Tenodesis on Anterior Cruciate Ligament Graft Incorporation. *Orthop J Sports Med.* 1 nov 2020;8(11):232596712096009.

18. Wytrykowski K, Swider P, Reina N, Murgier J, Laffosse JM, Chiron P, et al. Cadaveric Study Comparing the Biomechanical Properties of Grafts Used for Knee Anterolateral Ligament Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* nov 2016;32(11):2288-94.

19. Sharma A, Flanigan DC, Randall K, Magnussen RA. Does Gracilis Preservation Matter in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Systematic Review. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* juin 2016;32(6):1165-73.

20. Cavaignac E, Pailhé R, Murgier J, Reina N, Lauwers F, Chiron P. Can the gracilis be used to replace the anterior cruciate ligament in the knee? A cadaver study. *The Knee.* déc 2014;21(6):1014-7.

21. Cavaignac E, Pailhé R, Reina N, Murgier J, Laffosse JM, Chiron P, et al. Can the gracilis replace the anterior cruciate ligament in the knee? A biomechanical study. *Int Orthop.* août 2016;40(8):1647-53.

22. Papachristou G, Nikolaou V, Efstathopoulos N, Sourlas J, Lazarettos J, Frangia K, et al. ACL reconstruction with semitendinosus tendon autograft without detachment of its tibial insertion: a histologic study in a rabbit model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 28 sept 2007;15(10):1175-80.

23. Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, Steadman JR. The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am J Sports Med.* mai 2009;37(5):890-7.

24. Hefti E, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* sept 1993;1(3-4):226-34.

25. Marot V, Justo A, Alshanquiti A, Reina N, Accadbled F, Berard E, et al. Simple Knee Value: a simple evaluation correlated to existing knee PROMs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* juin 2021;29(6):1952-9.

26. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop.* sept 1985;(198):43-9.

27. Fules PJ, Madhav RT, Goddard RK, Newman-Sanders A, Mowbray MAS. Evaluation of tibial bone tunnel enlargement using MRI scan cross-sectional area measurement after autologous hamstring tendon ACL replacement. *The Knee.* mars 2003;10(1):87-91.

28. Ge Y, Li H, Tao H, Hua Y, Chen J, Chen S. Comparison of tendon-bone healing between autografts and allografts after anterior cruciate ligament reconstruction using magnetic resonance imaging. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* avr 2015;23(4):954-60.

29. Howell SM, Clark JA, Blasier RD. Serial magnetic resonance imaging of hamstring anterior cruciate ligament autografts during the first year of implantation: A preliminary study. *Am J Sports Med.* janv 1991;19(1):42-7.

30. van Groningen B, van der Steen MC, Janssen DM, van Rhijn LW, van der Linden AN, Janssen RPA. Assessment of Graft Maturity After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Autografts: A Systematic Review of Biopsy and Magnetic Resonance Imaging studies. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* août 2020;2(4):e377-88.

31. Van Dyck P, Zazulia K, Smekens C, Heusdens CHW, Janssens T, Sijbers J. Assessment of Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Conventional Magnetic Resonance Imaging: A Systematic Literature Review. *Orthop J Sports Med.* 1 juin 2019;7(6):232596711984901.
32. Weiler A, Peters G, Mäurer J, Unterhauser FN, Südkamp NP. Biomechanical Properties and Vascularity of an Anterior Cruciate Ligament Graft can be Predicted by Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging: A Two-Year Study in Sheep <sup/>. *Am J Sports Med.* nov 2001;29(6):751-61.
33. Li H, Chen J, Li H, Wu Z, Chen S. MRI-based ACL graft maturity does not predict clinical and functional outcomes during the first year after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* oct 2017;25(10):3171-8.
34. Li H, Chen S, Tao H, Li H, Chen S. Correlation Analysis of Potential Factors Influencing Graft Maturity After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 1 oct 2014;2(10):232596711455355.
35. Zhang Y, Liu S, Chen Q, Hu Y, Sun Y, Chen J. Maturity Progression of the Entire Anterior Cruciate Ligament Graft of Insertion-Preserved Hamstring Tendons by 5 Years: A Prospective Randomized Controlled Study Based on Magnetic Resonance Imaging Evaluation. *Am J Sports Med.* oct 2020;48(12):2970-7.
36. Firth AD, Bryant DM, Litchfield R, McCormack RG, Heard M, MacDonald PB, et al. Predictors of Graft Failure in Young Active Patients Undergoing Hamstring Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With or Without a Lateral Extra-articular Tenodesis: The Stability Experience. *Am J Sports Med.* févr 2022;50(2):384-95.
37. Liukkonen RJ, Ponkilainen VT, Reito A. Revision Rates After Primary ACL Reconstruction Performed Between 1969 and 2018: A Systematic Review and Metaregression Analysis. *Orthop J Sports Med.* août 2022;10(8):23259671221110190.
38. Marmura H, Getgood AMJ, Spindler KP, Kattan MW, Briskin I, Bryant DM. Validation of a Risk Calculator to Personalize Graft Choice and Reduce Rupture Rates for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* juin 2021;49(7):1777-85.
39. MOON Knee Group, Spindler KP, Huston LJ, Zajick A, Reinke EK, Amendola A, et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in High School and College-Aged Athletes: Does Autograft Choice Influence Anterior Cruciate Ligament Revision Rates? *Am J Sports Med.* févr 2020;48(2):298-309.
40. Drago J, Lee RS, Benhaim P, Finerman GAM, Hame SL. Relaxin receptors in the human female anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* août 2003;31(4):577-84.
41. van Eck CF, Kropf EJ, Romanowski JR, Lesniak BP, Tranovich MJ, van Dijk CN, et al. ACL graft re-rupture after double-bundle reconstruction: factors that influence the intra-articular pattern of injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* mars 2011;19(3):340-6.
42. Kiapour AM, Fleming BC, Proffen BL, Murray MM. Sex Influences the Biomechanical Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Preclinical Large Animal Model. *Am J Sports Med.* juill 2015;43(7):1623-31.
43. Ménétrey J, Duthon VB, Laumonier T, Fritschy D. « Biological failure » of the anterior cruciate ligament graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* mars 2008;16(3):224-31.
44. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 21 juill 2009;6(7):e1000097.
45. Hozo SP, Djulbegovic B, Hozo I. Estimating the mean and variance from the median, range, and the size of a sample. *BMC Med Res Methodol.* déc 2005;5(1):13.
46. Follmann D, Elliott P, Suh I, Cutler J. Variance imputation for overviews of

- clinical trials with continuous response. *J Clin Epidemiol.* juill 1992;45(7):769-73.
47. Higgins JPT. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ.* 6 sept 2003;327(7414):557-60.
 48. Peters JL, Sutton AJ, Jones DR, Abrams KR, Rushton L. Contour-enhanced meta-analysis funnel plots help distinguish publication bias from other causes of asymmetry. *J Clin Epidemiol.* oct 2008;61(10):991-6.
 49. Bahlau D, Favreau H, Eichler D, Lustig S, Bonnomet F, Ehlinger M. Clinical, functional, and isokinetic study of a prospective series of anterior cruciate ligament ligamentoplasty with pedicular hamstrings. *Int Orthop.* nov 2019;43(11):2557-62.
 50. Marcacci M, Zaffagnini S, Giordano G, Iacono F, Lo Presti M. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Associated with Extra-articular Tenodesis: A Prospective Clinical and Radiographic Evaluation with 10- to 13-Year Follow-up. *Am J Sports Med.* avr 2009;37(4):707-14.
 51. Sinha S, Naik AK, Maheshwari M, Sandanshiv S, Meena D, Arya RK. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Tibial Attachment Preserving Hamstring Graft without Implant on Tibial Side. *Indian J Orthop.* avr 2018;52(2):170-6.
 52. Grassi A, Casali M, Macchiarella L, Lucidi GA, Cucurnia I, Filardo G, et al. Hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction show better magnetic resonance features when tibial insertion is preserved. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* févr 2021;29(2):507-18.
 53. Gupta R, Bahadur R, Malhotra A, Masih GD, Sood M, Gupta P, et al. Outcome of Hamstring Autograft With Preserved Insertions Compared With Free Hamstring Autograft in Anterior Cruciate Ligament Surgery at 2-Year Follow-up. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* déc 2017;33(12):2208-16.
 54. Liu S, Li H, Tao H, Sun Y, Chen S, Chen J. A Randomized Clinical Trial to Evaluate Attached Hamstring Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Magnetic Resonance Imaging. *Am J Sports Med.* avr 2018;46(5):1143-9.
 55. Papachristou G, Sourlas J, Plessas S, Papachristou K. Arthroscopic ACL reconstruction with Δ plasty: an innovative approach with hamstrings' transfer and double tibial tunnel. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* avr 2008;16(4):420-6.
 56. Zaffagnini S, Marcacci M, Lo Presti M, Giordano G, Iacono F, Neri MP. Prospective and randomized evaluation of ACL reconstruction with three techniques: a clinical and radiographic evaluation at 5 years follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 3 nov 2006;14(11):1060-9.
 57. Ruffilli A, Pagliuzzi G, Ferranti E, Busacca M, Capannelli D, Buda R. Hamstring graft tibial insertion preservation versus detachment in anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized comparative study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* août 2016;26(6):657-64.
 58. Zaffagnini S, Bruni D, Marcheggiani Muccioli GM, Bonanzinga T, Lopomo N, Bignozzi S, et al. Single-bundle patellar tendon versus non-anatomical double-bundle hamstrings ACL reconstruction: a prospective randomized study at 8-year minimum follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* mars 2011;19(3):390-7.
 59. Buda R, Di Caprio F, Giuriati L, Luciani D, Busacca M, Giannini S. Partial ACL tears augmented with distally inserted hamstring tendons and over-the-top fixation: An MRI evaluation. *The Knee.* mars 2008;15(2):111-6.
 60. Meynard P, Pelet H, Angelliaume A, Legallois Y, Lavignac P, De Bartolo R, et al. ACL reconstruction with lateral extra-articular tenodesis using a continuous graft: 10-year outcomes of 50 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* sept 2020;106(5):929-35.
 61. Bahlau D, Clavert P, Favreau H, Ollivier M, Lustig S, Bonnomet F, et al. Mechanical advantage of preserving the hamstring tibial insertion for anterior cruciate ligament reconstruction – A cadaver study. *Orthop Traumatol Surg Res.* févr

2019;105(1):89-93.

62. Chambat P, Guier C, Sonnery-Cottet B, Fayard JM, Thaunat M. The evolution of ACL reconstruction over the last fifty years. *Int Orthop.* févr 2013;37(2):181-6.

63. Claes S, Verdonk P, Forsyth R, Bellemans J. The “Ligamentization” Process in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: What Happens to the Human Graft? A Systematic Review of the Literature. *Am J Sports Med.* nov 2011;39(11):2476-83.

64. Janssen RPA, Scheffler SU. Intra-articular remodelling of hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* sept 2014;22(9):2102-8.

65. Panos JA, Webster KE, Hewett TE. Anterior cruciate ligament grafts display differential maturation patterns on magnetic resonance imaging following reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* juill 2020;28(7):2124-38.

66. Pauzenberger L, Syré S, Schurz M. “Ligamentization” in Hamstring Tendon Grafts After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of the Literature and a Glimpse Into the Future. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* oct 2013;29(10):1712-21.

67. Putnis SE, Klasan A, Oshima T, Grasso S, Neri T, Coolican MRJ, et al. Magnetic Resonance Imaging Assessment of Hamstring Graft Healing and Integration 1 and Minimum 2 Years after ACL Reconstruction. *Am J Sports Med.* juill 2022;50(8):2102-10.

68. Putnis SE, Oshima T, Klasan A, Grasso S, Neri T, Fritsch BA, et al. Magnetic Resonance Imaging 1 Year After Hamstring Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Can Identify Those at Higher Risk of Graft Failure: An Analysis of 250 Cases. *Am J Sports Med.* avr 2021;49(5):1270-8.

69. Mesnier T, Cavaignac M, Marot V, Reina N, Cavaignac E. Knee Anterolateral Ligament Reconstruction With Knotless Soft Anchor: Shallow Fixation Prevents Tunnel Convergence. *Arthrosc Tech.* avr 2022;11(4):e511-6.

70. Faruch Bilfeld M, Cavaignac E, Wytrykowski K, Constans O, Lapègue F, Chiavassa Gandois H, et al. Anterolateral ligament injuries in knees with an anterior cruciate ligament tear: Contribution of ultrasonography and MRI. *Eur Radiol.* janv 2018;28(1):58-65.

71. Cavaignac E, Castoldi M, Marot V, Courtot L, Gracia G, Reina N. Minimally Invasive Ultrasound-Guided Anterolateral Ligament Reconstruction With Autologous 2-Strand Gracilis Graft. *Arthrosc Tech.* juill 2019;8(7):e685-9.

72. Murgier J, Thomas P, Reina N, Sylvie R, Bérard E, Cavaignac E. Painful Palpation of the Tibial Insertion of the Anterolateral Ligament Is Concordant With Acute Anterolateral Ligament Injury. *Orthop J Sports Med.* 1 juin 2020;8(6):232596712093020.

73. Castoldi M, Cavaignac M, Marot V, Reina N, Mouarbes D, Berard E, et al. Femoral Positioning of the Anterolateral Ligament Graft With and Without Ultrasound Location of the Lateral Epicondyle. *Am J Sports Med.* févr 2022;50(2):415-22.

74. Gracia G, Cavaignac M, Marot V, Mouarbes D, Laumonerie P, Cavaignac E. Epidemiology of Combined Injuries of the Secondary Stabilizers in ACL-Deficient Knees: Medial Meniscal Ramp Lesion, Lateral Meniscus Root Tear, and ALL Tear: A Prospective Case Series of 602 Patients With ACL Tears From the SANTI Study Group. *Am J Sports Med.* juin 2022;50(7):1843-9.

75. Gohil S, Annear PO, Breidahl W. Anterior cruciate ligament reconstruction using autologous double hamstrings: a comparison of standard *versus* minimal debridement techniques using MRI to assess revascularisation: A RANDOMISED PROSPECTIVE STUDY WITH A ONE-YEAR FOLLOW-UP. *J Bone Joint Surg Br.* sept 2007;89-B(9):1165-71.

76. Muramatsu K, Hachiya Y, Izawa H. Serial evaluation of human anterior

cruciate ligament grafts by contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison of allografts and autografts. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* sept 2008;24(9):1038-44.

77. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 14 oct 1998;6(4):231-40.

78. Biuk E, Zelić Z, Rapan S, Ćurić G, Biuk D, Radić R. Analysis of biomechanical properties of patellar ligament graft and quadruple hamstring tendon graft. *Injury.* nov 2015;46:S14-7.

79. Colombet P, Graveleau N, Jambou S. Incorporation of Hamstring Grafts Within the Tibial Tunnel After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Magnetic Resonance Imaging of Suspensory Fixation Versus Interference Screws. *Am J Sports Med.* nov 2016;44(11):2838-45.

80. Pauvert A, Robert H, Gicquel P, Graveleau N, Pujol N, Chotel F, et al. MRI study of the ligamentization of ACL grafts in children with open growth plates. *Orthop Traumatol Surg Res.* déc 2018;104(8):S161-7.

81. Marot V, Valette A, Courtot L, Lucena T, Reina N, Cavaignac E. Outside-In Anterior Cruciate Ligament Revision With Lateral Tenodesis and High-Strength Suture Augmentation Is Easy to Perform With the Iliotibial Band. *Arthrosc Tech.* mai 2021;10(5):e1321-6.

82. Liu S, Sun Y, Wan F, Ding Z, Chen S, Chen J. Advantages of an Attached Semitendinosus Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Rabbit Model. *Am J Sports Med.* nov 2018;46(13):3227-36.

83. Zaffagnini S, Bruni D, Russo A, Takazawa Y, Lo Presti M, Giordano G, et al. ST/G ACL reconstruction: double strand plus extra-articular sling vs double bundle, randomized study at 3-year follow-up: ST/G ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports.* 14 janv 2008;18(5):573-81.

84. Lee BI, Kim BM, Kho DH, Kwon SW, Kim HJ, Hwang HR. Does the tibial remnant of the anterior cruciate ligament promote ligamentization? *The Knee.* déc 2016;23(6):1133-42.

85. Mok AC, Fancher AJ, Vopat ML, Baker J, Tarakemeh A, Mullen S, et al. Sex-Specific Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med.* 1 févr 2022;10(2):232596712210768.

86. Wong LS, Martins-Green M. Firsthand cigarette smoke alters fibroblast migration and survival: implications for impaired healing. *Wound Repair Regen Off Publ Wound Heal Soc Eur Tissue Repair Soc.* août 2004;12(4):471-84.

87. Gullihorn L, Karpman R, Lippiello L. Differential effects of nicotine and smoke condensate on bone cell metabolic activity. *J Orthop Trauma.* janv 2005;19(1):17-22.

88. Karim A, Pandit H, Murray J, Wandless F, Thomas NP. Smoking and reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* août 2006;88(8):1027-31.

89. Pullen WM, Bryant B, Gaskill T, Sicignano N, Evans AM, DeMaio M. Predictors of Revision Surgery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* déc 2016;44(12):3140-5.

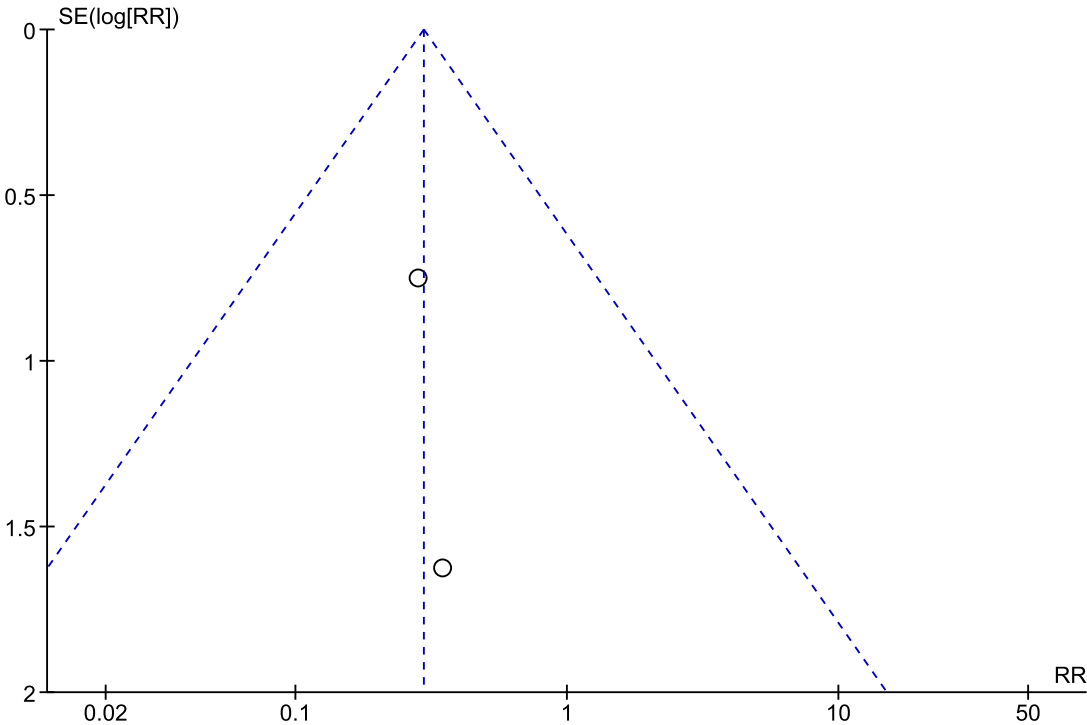
90. Kim-Wang SY, Holt AG, McGowan AM, Danyluk ST, Goode AP, Lau BC, et al. Immune cell profiles in synovial fluid after anterior cruciate ligament and meniscus injuries. *Arthritis Res Ther.* déc 2021;23(1):280.

91. Yao S, Yung PSH, Lui PPY. Tackling the Challenges of Graft Healing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction—Thinking From the Endpoint. *Front Bioeng Biotechnol.* 22 déc 2021;9:756930.

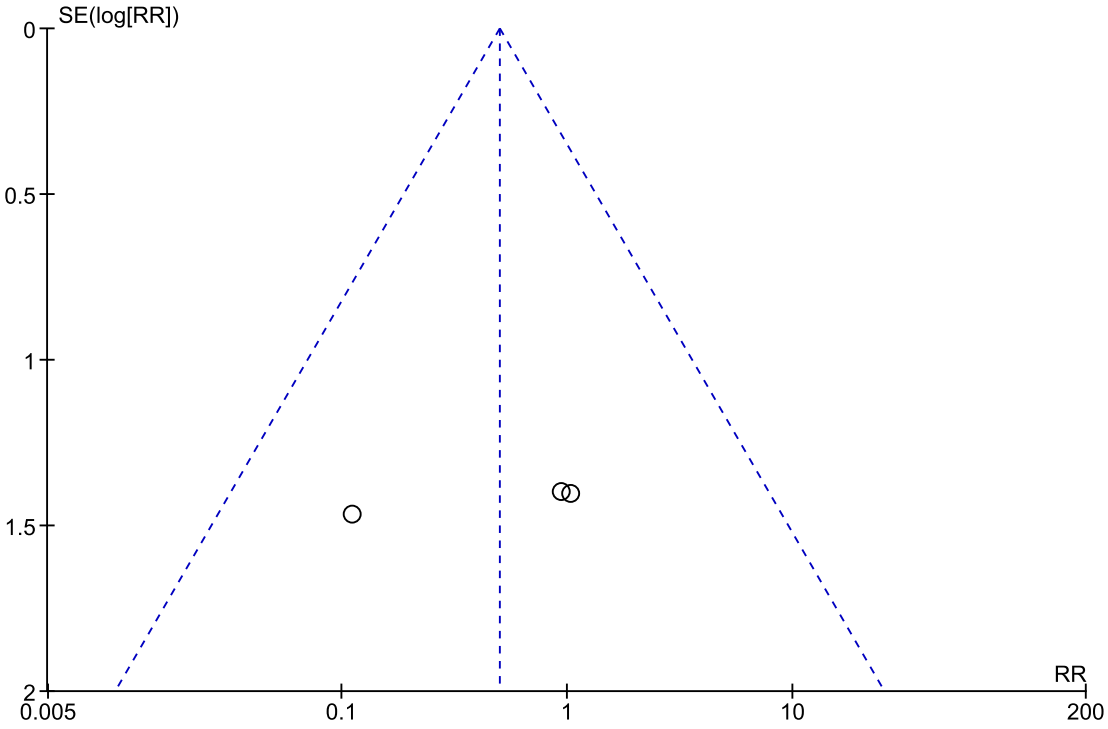
92. Lepley AS, Lepley LK. Mechanisms of Arthrogenic Muscle Inhibition. *J Sport Rehabil.* 1 août 2022;31(6):707-16.
93. Delaloye JR, Murar J, Vieira TD, Franck F, Pioger C, Helfer L, et al. Knee Extension Deficit in the Early Postoperative Period Predisposes to Cyclops Syndrome After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Risk Factor Analysis in 3633 Patients From the SANTI Study Group Database. *Am J Sports Med.* mars 2020;48(3):565-72.
94. Pietrosimone B, Lepley AS, Kuenze C, Harkey MS, Hart JM, Blackburn JT, et al. Arthrogenic Muscle Inhibition Following Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Sport Rehabil.* 1 août 2022;31(6):694-706.
95. Andriolo L, Di Matteo B, Kon E, Filardo G, Venieri G, Marcacci M. PRP Augmentation for ACL Reconstruction. *BioMed Res Int.* 2015;2015:1-15.

7 Annexes

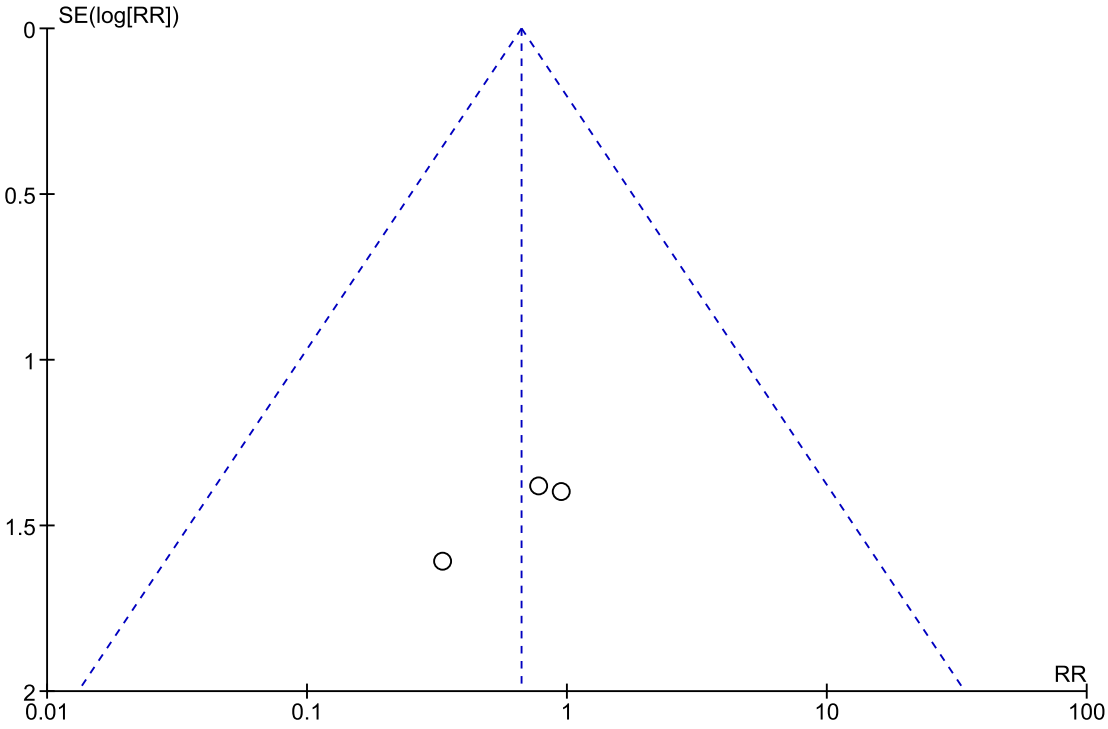
Funnel Plot Lachmann



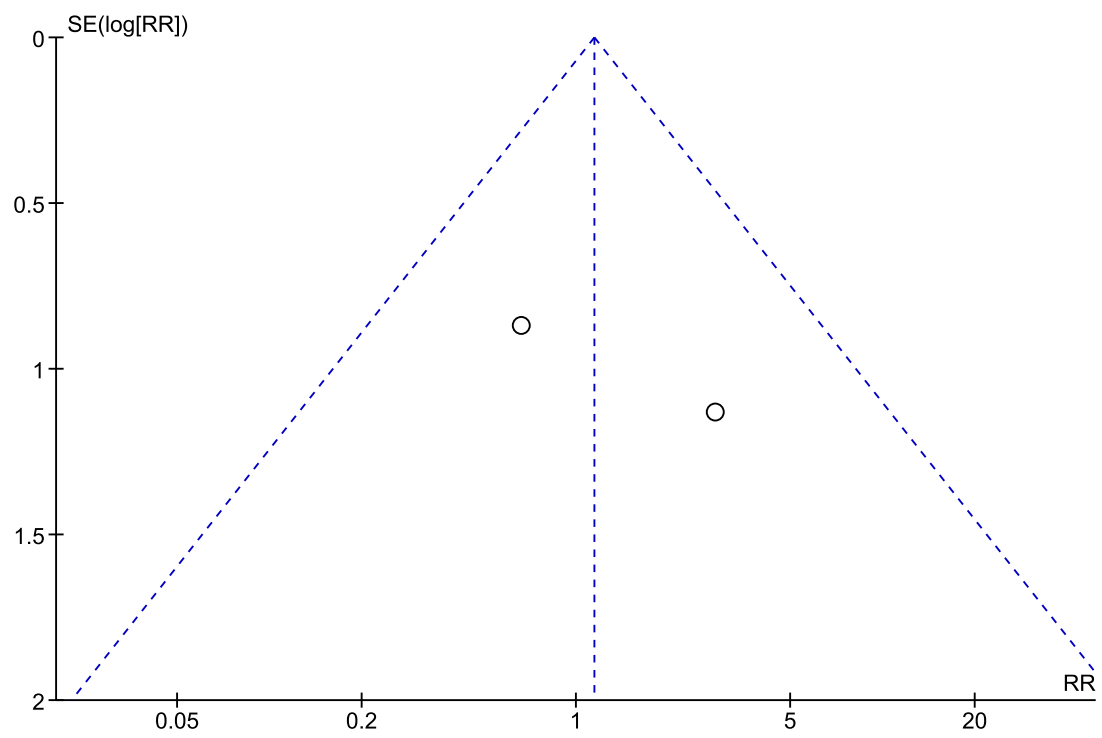
Funnel Plot Pivot Shift Test



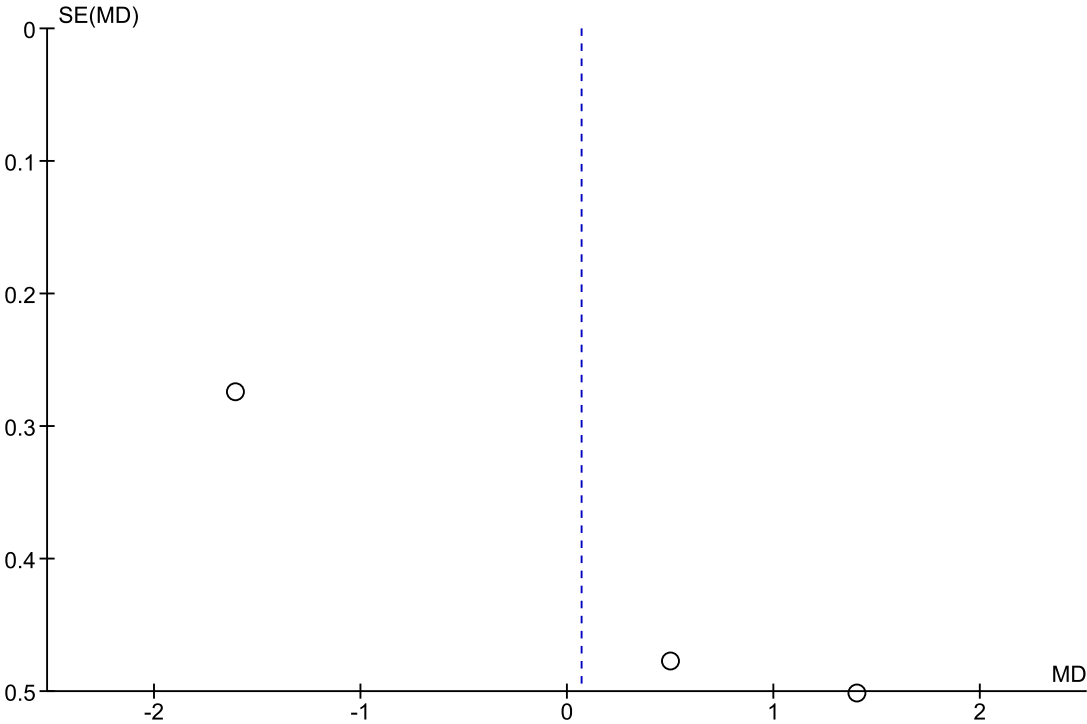
Funnel Plot Re-rupture



Funnel Plot Douleur



Funnel Plot Tegner



5 **Abstract**

6 **Background:** The semitendinosus (ST) tendon can be used by itself as a graft for
7 anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. An increasing number of these
8 procedures are being done while preserving the ST's tibial attachment, but there is no
9 data on the incorporation of this type of attached graft (aST).

10 **Purpose:** Compare graft incorporation on MRI at 1-year post-ACL reconstruction
11 between standard free ST graft (ST) and aST.

12 **Study design:** Comparative superiority, single-center, quasi-experimental, controlled
13 before-and-after study, level of evidence 3

14 **Methods:** This prospective study enrolled 180 patients who were undergoing ACL
15 reconstruction: 90 with the ST graft and 90 with the aST graft. The analysis was
16 performed 1 year after the surgery. The main endpoint was the signal to noise quotient
17 (SNQ) on MRI. The secondary endpoints were tibial tunnel widening (TTW), graft
18 maturation (Howell classification), retear rate, surgical revision rate, SKV, Lysholm
19 score, functional IKDC, postoperative Tegner score, difference between pre- and
20 postoperative Tegner, ACL-RSI, return to sports rate and time to return to sports.

21 **Results:** The mean adjusted SNQ was 1.18 in the aST group and 3.88 in the ST group
22 ($P < .001$). The surgical revision rate was 2.2% in the aST group and 10% in the ST group
23 ($P = .029$). The mean Lysholm score was significantly higher in the aST group (96) than
24 in the ST group (94) ($P = .004$). The mean time to return to sports was significantly
25 shorter in the aST group (249 days) than the ST group (317 days) ($P = .002$). No
26 statistically significant difference was found between groups in the TTW ($P = .503$),
27 Howell graft maturity grade ($P = .149$), retear rate ($P = 1$), SKV ($P = .061$), postoperative

28 Tegner score (P=.320), pre- to postoperative difference in Tegner score (P=.317), ACL-
29 RSI (P=.097), IKDC (P=.621) and return to sports rate (P=1).

30 **Conclusion:** At 1 year postoperative, MRI incorporation of a quadrupled ST graft is
31 better when its distal attachment is preserved.

32

33 **Key terms:** ACL reconstruction, distally attached hamstring graft, SNQ, ligamentization

34

35 **What is known about the subject:** Several ACL reconstruction techniques involving
36 hamstring grafts have been described. Some use both the semitendinosus and gracilis
37 tendons, while others use only the semitendinosus. While the incorporation of these
38 grafts has been studied extensively, the findings are not consistent. Incorporation of the
39 semitendinosus when its tibial attachment is preserved has not been studied, nor
40 compared to standard graft options.

41

42 **What this study adds to existing knowledge:** This study shows that preserving the
43 tibial attachment of the semitendinosus improves its incorporation, reduces the rate of
44 revision surgery and allows earlier return to sports when compared to the standard
45 free semitendinosus graft technique.

46 **Introduction**

47 Reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACL) is now an extremely common
48 procedure with several technical options^{33,36}. One of these options is to use the hamstring
49 tendons (gracilis and semitendinosus) as a graft^{12,58}. Another variation is to use only the
50 semitendinosus (ST) for reconstructing the ACL^{6,7}. By sparing the gracilis, the isokinetic
51 results are better⁴⁶ and the anterolateral ligament can be reconstructed⁵¹. The outcomes
52 when using the ST only are comparable to those of using the ST and gracilis tendons
53 together⁴⁶, which suggests that these two hamstring tendons are not needed for isolated
54 ACL reconstruction^{8,9}.

55 One surgical trend is to leave the distal attachment of the ST on the tibia intact (aST)²³.
56 This increases the stability of the construct (double tibial fixation) and may improve the
57 graft's incorporation³⁸. The idea of leaving a graft attached at its tibial insertion has been
58 around since the early 2000s^{3,28,39,53,55}. Several different techniques have been described,
59 but none use only the ST^{48,56}. Furthermore, no study has directly compared the
60 incorporation of aST with standard, free ST.

61 The signal-to-noise quotient (SNQ) on MRI is used most often to evaluate graft
62 incorporation^{6,7,10,24,25}. We hypothesized that graft incorporation is better when using an
63 aST graft than a standard ST graft. The primary objective of this study was to compare to
64 incorporation of the aST graft with that of the ST graft based on the SNQ at 1 year
65 postoperative. The secondary objectives were to compare the clinical and functional
66 outcomes in these two groups at 1 year postoperative.

67 **Methods**

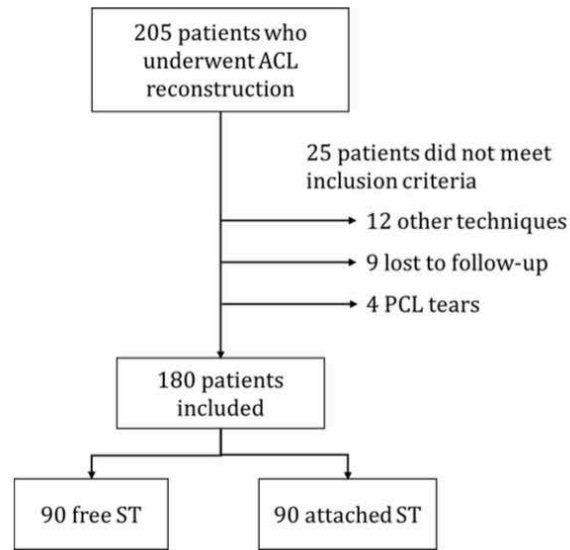
68 This was a single-center comparative superiority quasi-experimental (controlled before-
69 and-after) study with prospective enrollment of patients who received standard of care.
70 At our hospital in France, ACL reconstruction is currently done using the aST technique³¹.
71 Patients enrolled between July 2019 and November 2019 underwent ACL reconstruction
72 using a standard ST graft (control group). Patients enrolled between December 2019 and
73 February 2020 underwent ACL reconstruction using the aST graft (study group). The
74 study was approved by our institutional review board (RnIPH 2021).

75 **Patients**

76 During the study period, 205 patients with a torn ACL were eligible for ACL
77 reconstruction. The inclusion criteria were age >18 years and <50 years, clinical and MRI
78 diagnosis of ACL tear, healthy contralateral knee, reviewed at follow-up visit 1 year after
79 surgery (current practice at our hospital), underwent ACL reconstruction using ST
80 (control group) or aST (study group).

81 The exclusion criteria were a PCL tear, MCL tear < grade 3, LCL tear < grade 3, cartilage
82 lesion \geq grade 2 (Outerbridge classification), associated fracture, incorrect tunnel
83 positioning, prior injury to the knee in question that required surgery, patellofemoral
84 pain, systemic disease.

85 Of the 205 eligible patients, 12 underwent ACL reconstruction using a different technique
86 (3 both hamstring tendons, 8 fascia lata, 1 quadriceps tendon), 4 had a PCL tear, 9 were
87 lost to follow-up. In the end, 90 patients underwent ACL reconstruction with standard ST
88 graft and 90 underwent ACL reconstruction with aST (Figure 1).



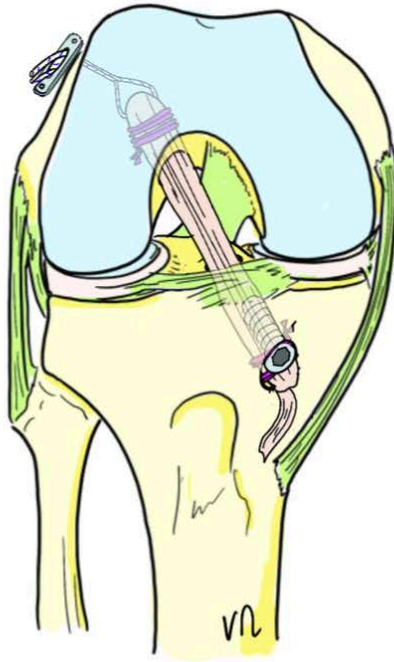
89

90 **Figure 1** - Study flow chart: patients enrolled between July 2019 and February 2020 –
 91 ACL: anterior cruciate ligament, PCL: posterior cruciate ligament, ST: semitendinosus

92

93 **Surgical technique**

94 The patients underwent ACL reconstruction with an ST graft only³¹. For the standard free
 95 ST graft, the ST tendon was harvested and detached from its tibial insertion, then
 96 prepared on the back table and folded into four as previously described⁷. For the distally
 97 intact technique (Figure 2), the ST tendon was left attached to its tibial insertion, then
 98 folded into four bundles to be used as a graft³¹. The blind femoral tunnel measured
 99 15 mm. An endobutton device was used for the femoral fixation and a resorbable
 100 interference screw was used for the tibial fixation. If indicated, lateral tenodesis was
 101 performed using the gracilis tendon^{4,5,13,17,35}. The only difference between the study and
 102 control group is that the ST's tibial attachment was preserved in the study group.



103

104 **Figure 2** – Ligament reconstruction using a distally attached ST graft.

105

106 All patients underwent the same postoperative rehabilitation protocol. Full weight
107 bearing was allowed immediately after the surgery. Physical therapy started the day after
108 surgery. Running was allowed in the 3rd month postoperative. Return to pivot and contact
109 sports was allowed once the results of the isokinetic tests were satisfactory, generally
110 around the 7th month.

111 To summarize, all the patients in this study came from the same population group and
112 were operated by the same surgeon using the same instrumentation, same surgical
113 technique (except for the graft type) and same rehabilitation protocol.

114 **Endpoints**

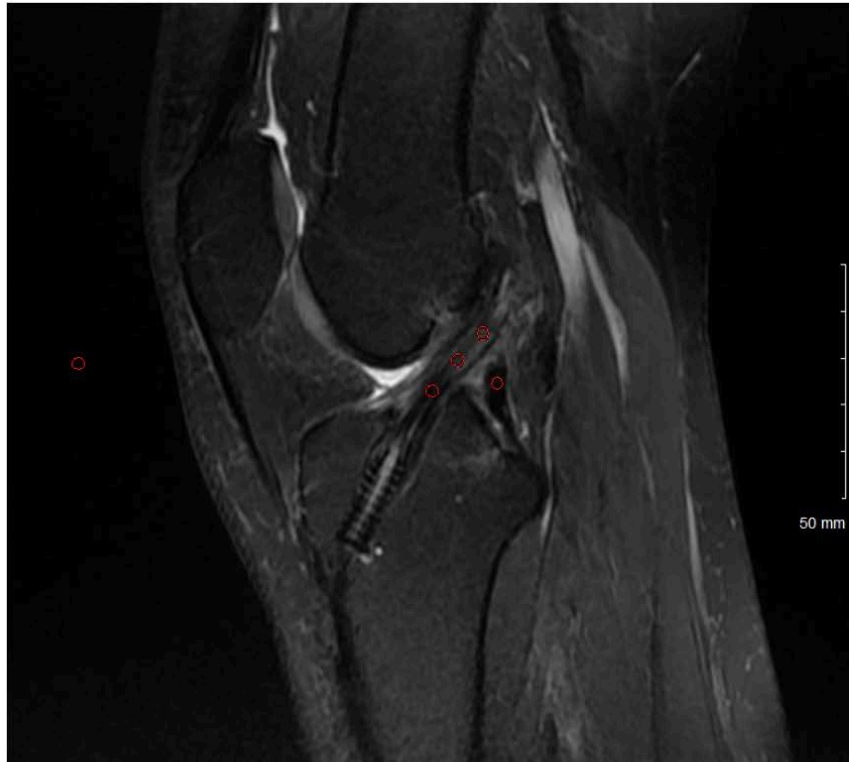
115 Ligamentization corresponds to the graft's natural history¹⁰. We used three previously
116 validated MRI criteria to evaluate graft incorporation at 1 year postoperative: (1)

117 SNQ^{6,7,16,19,22,24,25,34,50,57} was the primary endpoint, (2) tibial tunnel widening (TTW)^{14,15,21}
118 and graft maturation (Howell scale)²² were the secondary endpoints. This methodology
119 has been used previously and validated.^{2,10}

120 During the 1-year follow-up visit, patients underwent an MRI of their operated knee using
121 a 3T MRI unit (Magnetom Skyra, Siemens) that had a 15-channel knee coil. The
122 examination involved T1-weighted and fat-suppressed proton density-weighted
123 sequences in all three planes. The following formula was used to calculate the SNQ:

$$124 \quad (1)SNQ = \frac{\text{(Graft signal - PCL signal)}}{\text{Background signal}}$$

125 The signal was measured in the graft in 0.05 cm² circular regions of interest on oblique
126 images, tangent to a transverse slice through the ACL in its intra-articular portion at three
127 levels (distal, middle, proximal). The PCL signal was measured in its middle portion. The
128 background signal was measured 2 cm in front of the patellar tendon. The SNQ reflects
129 the graft's mechanical strength.^{10,16,22,34,50} (Figure 3)



130

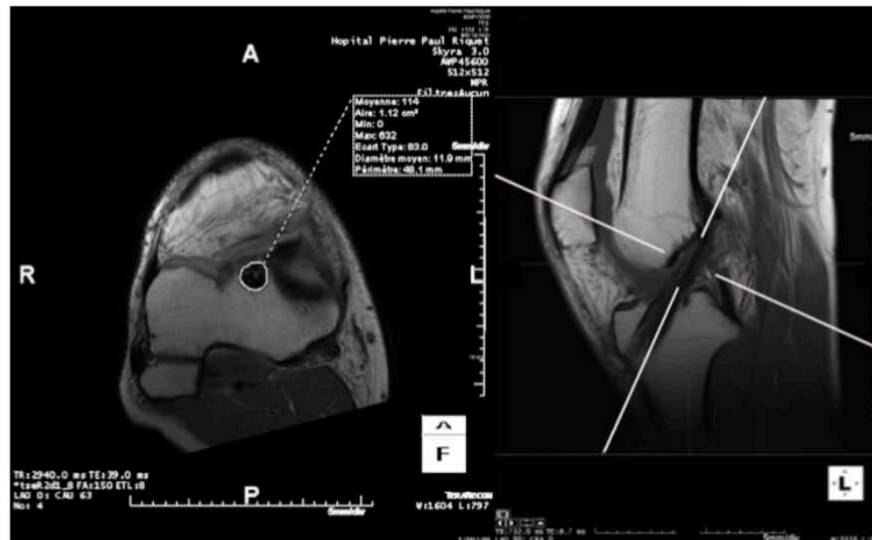
131 **Figure 3** – Placement of circular ROIs (0.05 cm²) to calculate the SNQ; 1 ROI 2 cm in front
 132 of the patellar tendon, 3 ROI (1 proximal, 1 middle, 1 distal) on the anterior cruciate
 133 ligament ; 1 ROI on the posterior cruciate ligament, ROI: region of interest.

134

135 TTW was calculated by measuring the mean area at the entry of the tibial tunnel on
 136 oblique MRI slices, perpendicular to the tunnel. Imaging processing software (Terarecon)
 137 was used to measure the cross-sectional area (CSA) in cm² of the tibial tunnel in its
 138 articular portion. The perpendicular axis to the graft was defined by 3D reconstruction
 139 (Figure 4). The following formula was used to calculate TTW (percentage change):

140
$$(2) \text{ TTW} = \frac{\text{CSA measured} - \text{CSA drilled}}{\text{CSA drilled}} \times 100$$

141



142

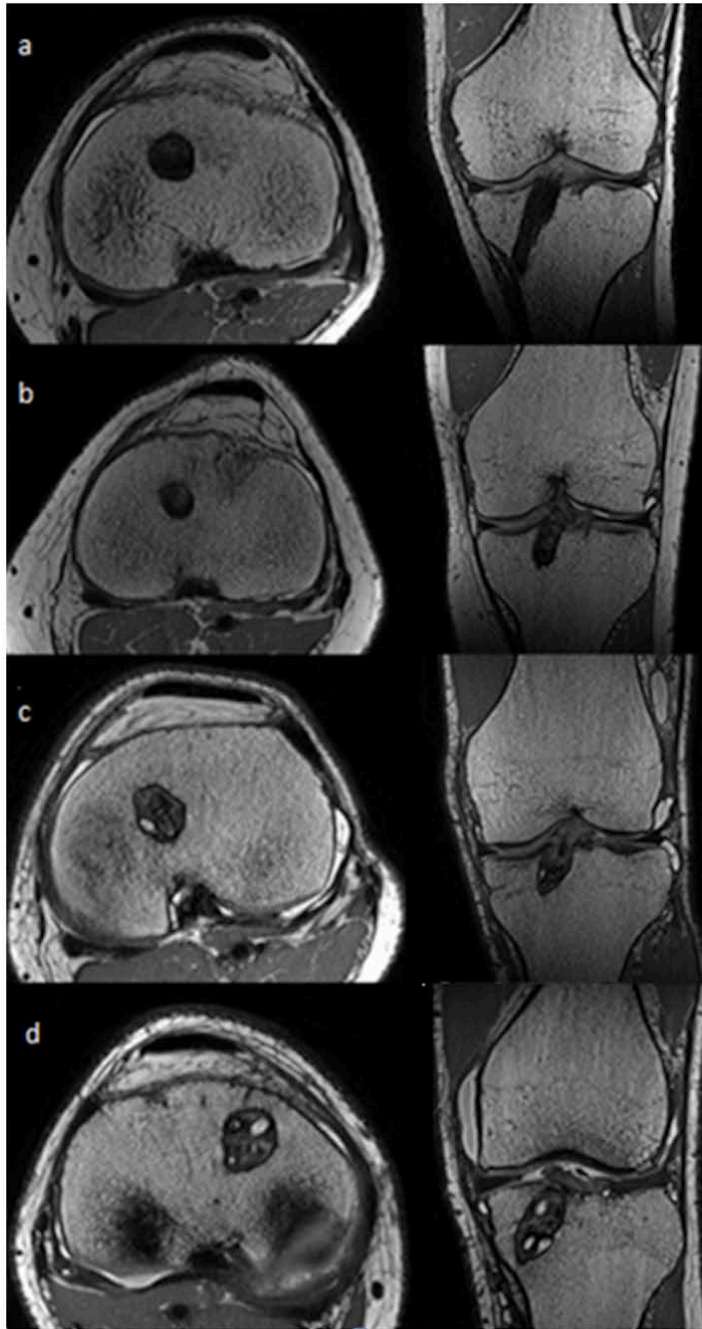
143 **Figure 4** – Measurement of the cross-sectional area at the entry of the tibial tunnel.

144

145 The Howell classification²² was used to evaluate graft integration in the tibial
 146 tunnel^{6,7,11,40}. Axial and oblique reconstructions were also used to define the graft's axis.

147 This classification has four grades:

- 148 I. homogeneous, low-intensity signal that is indiscernible from the PCL and patellar
 149 tendon
- 150 II. normal ligament signal in at least 50% of its volume
- 151 III. increased signal intensity in less than 50% of its volume, mixed with segments
 152 having a normal ligament signal
- 153 IV. diffuse increase in signal intensity without strands of normal ligament
 154 appearance. (Figure 5)



155

156 **Figure 5** – Howell graft maturity scale – a: Stage I; b: Stage II; c: Stage III; d: Stage IV

157

158 During the 1-year follow-up visit, the number of graft retears³⁰ and revision surgeries
159 were also documented.

160 The functional outcomes at 1 year postoperative consisted of the SKV²⁹, Lysholm score,
161 postoperative Tegner score, change in Tegner score from preoperative, ACL-RSI and
162 International Knee Documentation Committee (IKDC) score. The return to sports rate
163 and time to return to sports after surgery were also compiled.

164 **Statistical analysis**

165 This was a superiority study. We presumed the SNQ would be lower in the aST group than
166 the ST group. This analysis is based on the results of a prior study:¹⁰ with an expected
167 difference in the mean SNQ observed in the two groups of 3.2 (and SD of 3.7) with a two-
168 tailed alpha risk of 5%, the statistical power was greater than 95% when 180 patients
169 were enrolled (90 in the aST group and 90 ST control group).

170 Before performing the analyses, verification of missing or aberrant or inconsistent data
171 was conducted. After corrections, the database was locked. Analysis was performed on
172 the locked database. We first described baseline characteristics of patients in each group
173 using the appropriate descriptive statistics according to the type of variables. Descriptive
174 statistics included mean with SD for continuous variables and number with frequency
175 (%) for categorical variables.

176 The primary endpoint was analyzed by comparing the SNQ at 1 year in each group. Mann-
177 Whitney's test was used (since the SNQ was not distributed normally). To consider
178 imbalanced baseline characteristics between groups, the adjusted mean SNQ was
179 assessed in each group using a linear regression model. Categorical secondary endpoints
180 were compared between groups using the χ^2 -test (or Fisher's exact test when necessary).
181 Student's *t* test was used to compare the distribution of continuous secondary endpoints

182 (or Mann Whitney's test when distribution departed from normality or when
 183 homoscedasticity is rejected).

184 All reported *p* values were two-tailed, and the significance threshold was set at < .05.
 185 Statistical analyses was performed using STATA software 17.0 (STATA Corp., College
 186 Station, TX, USA).

187

188 **Results**

189 The two groups were comparable (Table 1) except for the presence of an anterolateral
 190 ligament tear, performance of lateral tenodesis (more common in the standard ST group)
 191 and graft diameter (smaller in the standard ST group). Thus, the comparison for the
 192 primary outcome measure was adjusted on these three variables.

TABLE 1
Patient characteristics^a

	Free ST	Attached ST	<i>p</i> value
	N = 90	N = 90	
<i>Age at surgery (years)</i>	27.20 (± 9.37)	27.74 (± 8.86)	.689
<i>Male, n (%)</i>	52 (57.8)	59 (65.6)	.283
<i>BMI (kg/m²)</i>	23.75 (± 4.15)	24.08 (± 3.54)	.382
<i>Smoker, n (%)</i>	23 (25.6)	17 (18.9)	.282
<i>Time to surgery (weeks)</i>	26.24 (± 37.85)	21.40 (± 24.40)	.290
<i>LT, n(%)</i>	73 (81.1)	46 (51.1)	<.0001
<i>Graft diameter (mm)</i>	8.64 (± 0.87)	9.02 (± 0.73)	.001
<i>MM lesion, n (%)</i>	13 (14.4)	8 (8.9)	.245
<i>LM lesion, n (%)</i>	14 (15.6)	16 (17.8)	.689
<i>ALL tear, n (%)</i>	66 (73.3)	46 (51.1)	.002

Preoperative Tegner score (/10)	7.48 (± 2.01)	7.59 (± 1.64)	.684
--	---------------	---------------	------

193 a. Values are mean ± SD except if indicated otherwise
 194 BMI: body mass index, LT: lateral tenodesis, MM: medial meniscus, LM: lateral meniscus,
 195 ALL: anterolateral ligament

196

197 **Signal-to-Noise Quotient**

198 The mean SNQ was 1.15 (± 1.01) in the study group and 3.91 (± 2.86) in the control group
 199 (p<.0001). After adjusting for anterolateral ligament tears, lateral tenodesis and graft
 200 diameter, the mean adjusted SNQ was 1.18 (95% Confidence Interval: 0.72–1.65) in the
 201 study group and 3.88 (3.42–4.34) in the control group (p<.001). Thus, the SNQ was
 202 significantly lower in the aST group than in the ST group, suggesting better graft
 203 incorporation.

204 **Secondary endpoints (Table 2)**

205 The mean Lysholm score was 96 (± 6) in the aST group versus 94 (± 6) in the ST group
 206 (p=.004). The revision rate was 2.2% in the aST group (1 for cyclops syndrome, 1 for joint
 207 lavage) versus 10% in the ST group (2 for cyclops syndrome, 3 for removal of femoral
 208 endobutton device, 2 for manipulation under anesthesia, 2 for joint lavage) (p=.029). The
 209 mean time to resume sports after surgery was significantly shorter in the aST group (249
 210 ± 142 days) than the ST group (317 ± 144 days) (P=.002).

211

TABLE 2
Secondary endpoints^a

	Free ST	Attached ST	p value
TTW (%)	73.03 (± 40.18)	68.73 (± 45.87)	.503
Howell grade (median)	2.00	2.00	.149

Retear, n(%)	1 (1.1)	0 (0.0)	1
Revision, n(%)	9 (10.0)	2 (2.2)	.029
SKV (0-100)	84.76 (± 10.46)	87.79 (± 11.16)	.061
Lysholm (0-100)	94.11 (± 6.12)	95.96 (± 5.98)	.004
Tegner Postop (0-10)	6.32 (± 2.20)	6.64 (± 2.14)	.320
Change in Tegner (pre/post)	1.16 (± 1.64)	0.94 (± 1.65)	.317
ACL-RSI (0-100)	71.17 (± 18.80)	75.91 (± 19.28)	.097
IKDC (0-100)	89.36 (± 9.86)	90.09 (± 9.96)	.621
Return to sports n (%)	83 (92.2)	83 (92.2)	1
Time to return to sports (days)	317.23 (± 144.69)	248.73 (± 141.62)	.002

212 a. Values are mean ± SD except if indicated otherwise

213 TTW: tibial tunnel widening; SKV, Simple Knee value; ACL-RSI, Anterior Cruciate

214 Ligament-Return to Sport after Injury; IKDC, International Knee Documentation

215

216 Discussion

217 Our hypothesis is confirmed: an ST tendon graft is better incorporated during ACL
 218 reconstruction with its tibial attachment is left intact. This is the first study to compare
 219 standard free ST grafts with distally attached ST grafts.

220 MRI is currently the best modality to evaluate graft incorporation non-
 221 invasively.^{10,19,37,41,43,49,50} According to Weiler et al⁵⁰, the changes in signal intensity on
 222 MRI over time correspond to the graft incorporation process. The SNQ is a validated and
 223 reproducible measurement that reflects the graft's mechanical properties. The SNQ has a
 224 significant negative linear correlation with load to failure and tensile strength.¹⁶

225 In our study, the mean SNQ was statistically lower at 1 year when the tibial insertion of
 226 the ST graft was preserved (1.18 vs 3.88, P<.001), which suggests better graft
 227 incorporation. Our findings with an attached ST graft are consistent with results of

228 attached hamstring grafts.^{18,26,44} Ours is the first study to compare a distally attached ST
229 graft with standard free ST graft for ACL reconstruction. However, our SNQ values cannot
230 be compared to those of other studies as this parameter is highly dependent on the MRI
231 system and software used. The same goes for all MRI criteria using graft signals.⁴⁹

232 The TTW (73.03 vs 68.73, p=.503) and Howell grade (median of 2, p=.149), secondary
233 endpoints for graft incorporation on MRI in our study, were not statistically different.
234 However, the results were at least as good in both groups. We feel that the SNQ is a better
235 parameter because it looks at the intra-articular portion of the graft, not only at the tibial
236 tunnel's entry point, and is more reliable than the Howell scale, which is more subjective.

237 Contrary to our study in which only the ST tendon was used as a graft, several studies
238 have evaluated the combined hamstring tendons (ST and gracilis) when left attached at
239 their tibial insertion. Ruffilli et al⁴⁴ found a better mean ligamentization score (2.1 ± 0.6
240 vs 1.7 ± 0.6) with a statistically significant difference in favor of the technique that
241 preserved the tibial insertion of the hamstring tendons. In a randomized controlled study,
242 Liu et al²⁶ found the mean intra-articular SNQ was significantly lower at 6 months (14.9
243 vs 25.6, P=.002) and 12 months (12.6 vs 18.3, P=.02) post-ACL reconstruction. Recently,
244 Grassi et al¹⁸ compared the mean SNQ of the graft inside the tibial tunnel at 18 months
245 between single-strand attached hamstring tendons with lateral reconstruction versus a
246 standard four-bundle hamstring graft. The results also favored the distally attached
247 technique with a lower mean SNQ value (0.15 vs 1.61, P=.015). There are several
248 explanations for this better graft incorporation. One is that preserving the graft's tibial
249 attachment provides it with better vascularization due to the vascular network at its
250 insertion. Zaffagnini et al,⁵⁴ in their anatomy study, described the macroscopic and
251 microscopic appearance of the pes anserinus tendons. The nerve and vascular supply was

252 substantial with the size of the vessels decreasing from the tibial insertion to the middle
253 of the tendon. In an experimental study in rabbits, Papachristou et al³⁸ compared the
254 histological appearance of attached and free grafts at 3, 6 and 12 weeks after
255 reconstruction. Starting at the 3rd week postoperative, there was no necrosis in the
256 attached tendon, which allows it to accelerate healing and preserves the architecture and
257 cellularity of the graft. At 12 weeks, the graft appeared similar to a normal ligament,
258 which was not the case for the free graft, whose overall architecture was disorganized
259 and had degenerative lesions. Another reason could be that leaving the tendon's distal
260 insertion intact provides dual tibial fixation (screw plus native attachment), thereby
261 improving the construct's stability. In a study on rabbits, Liu et al²⁷ compared the
262 mechanical strength of grafts with or without intact distal insertion at 3, 6, 12 and 24
263 weeks postoperative. The maximum load to failure (in Newtons) supported by the graft
264 was always higher for the distally attached graft group, with a statistically significant
265 difference at 12 weeks (44.54 vs 25.04, P=.0313) and 24 weeks (56.34 vs 37.10; P=.0343).
266 Bahlau et al¹ did a cadaver study in which they compared the maximum load of the graft
267 based on whether its distal attachment was intact or not and whether an interference
268 screw was added. The maximum load to failure was higher in the group with distally
269 attached graft + interference screw (111.2 N) versus the group with distally attached
270 graft only (89.2N), and in the group of free tendon graft with interference screw (67.2 N).
271 Thus, the graft's original distal attachment is stronger than an interference screw. This
272 may explain the trend found in our study that the retear rate and revision surgery rate
273 were lower in the group with distally attached ST graft. Use of a distally attached double-
274 hamstring graft preserves two bone attachments, contrary to our technique with a single
275 tendon (ST). For this reason, we had to verify if graft incorporation was also better when
276 a single hamstring tendon was used with its distal attachment intact.

277 In our study, the functional outcomes at 1-year post-ACL reconstruction were always
278 better in the group operated with an attached ST graft. However, the differences between
279 the control and study groups were minimal. This is consistent with published studies of
280 hamstring grafts.^{18,20,26,39,44,45,52,55} It is difficult to show a statistically significant difference
281 in the functional outcomes between different techniques because the results are so good
282 with these techniques to start with.^{3,28,32,47}

283 Putnis et al⁴³ showed a direct cause and effect relationship between a high signal intensity
284 ratio (SIR) on MRI at 1 year and the graft retear rate. In an MRI study of 250 patients, a 1-
285 point increase in the SIR was associated with a 40% increase in the risk of graft failure.
286 In an MRI study at 1 and 2 years, Putnis et al⁴² found no major change in the SIR. This
287 suggests that the ligamentization process mainly occurs during the 1st year, and that it is
288 directly related to the risk of the graft failing.

289 We also found faster return to sports in the study group (248 vs 317 days, $p=.002$), which
290 could be attributed to the faster ligamentization process. It may be interesting to develop
291 an algorithm that personalizes return to sports after ACL reconstruction based on the
292 graft's appearance on MRI. Putnis et al⁴³ showed that patients who had a higher MRI
293 signal had a higher risk of retear during return to sports. However, no study has
294 investigated return to sport specifically based on MRI signal.

295 Our study has several limitations. First, the groups were not exactly comparable,
296 especially when it comes to adding lateral tenodesis to the ACL reconstruction. Cavaignac
297 et al⁷ have previously shown that adding lateral tenodesis improves graft incorporation
298 at 1 year. More lateral tenodesis procedures were done in the free ST group (73%) than
299 the aST group (51%). For this reason, the mean SNQ was adjusted for these baseline
300 imbalances between groups; the differences between groups were still present (1.18 vs

301 3.88, $P < .001$). Second, the MRI analysis was carried out by a single radiologist, which may
302 have contributed to interpretation bias. However, it has been shown that the SNQ is a
303 reliable and reproducible method for evaluating graft incorporation, with low intra-rater
304 variability.^{6,7} Third, the 1 year study duration is shorter than other studies.^{18,25,32,57} The
305 patients in our study were not followed long enough to get a good handle on the retear
306 rate (1 in the ST group and 0 in the aST group, $p=1$). It would be interesting to continue
307 this evaluation over time to evaluate the solidness of the construct. Nevertheless, the 1-
308 year follow-up was sufficient to reveal differences in the ligamentization process. Fourth,
309 the patients were not randomized at enrollment. Those who underwent ACL
310 reconstruction with a free ST graft (control group) were operated before those who
311 underwent ACL reconstruction with a distally attached ST graft (study group).
312 Consequently, adjustments were made in the statistical analysis to compensate for
313 baseline imbalances between the two groups and all patients were operated by the same
314 experienced surgeon over a short period of time. Fifth, this was a single-center study
315 featuring a surgical technique practiced by a single surgeon. It would be interesting to
316 group the same technique, practiced by several surgeons at other facilities to improve the
317 external validity of this study.

318 The strengths of our study are its high-quality methodology, large number of patients in
319 each group relative to other published studies^{6,7,18,20,26,39,44,52,57}, which was based on a
320 sample-size calculation using hypotheses made based on published data and the fact that
321 the surgery was done by a single surgeon with the same surgical technique used in all
322 patients, except for the parameter of interest.

323 **Conclusion**

324 At 1 year postoperative, MRI incorporation of a quadrupled ST graft is better when its
325 distal attachment is left intact. This better ligamentization may explain the faster return
326 to sports.

327 **References**

- 328 1. Bahlau D, Clavert P, Favreau H, et al. Mechanical advantage of preserving the
329 hamstring tibial insertion for anterior cruciate ligament reconstruction – A cadaver
330 study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2019;105(1):89-93.
- 331 2. Biuk E, Zelić Z, Rapan S, Ćurić G, Biuk D, Radić R. Analysis of biomechanical
332 properties of patellar ligament graft and quadruple hamstring tendon graft. *Injury.*
333 2015;46:S14-S17.
- 334 3. Buda R, Di Caprio F, Giuriati L, Luciani D, Busacca M, Giannini S. Partial ACL tears
335 augmented with distally inserted hamstring tendons and over-the-top fixation: An
336 MRI evaluation. *The Knee.* 2008;15(2):111-116.
- 337 4. Castoldi M, Cavaignac M, Marot V, et al. Femoral Positioning of the Anterolateral
338 Ligament Graft With and Without Ultrasound Location of the Lateral Epicondyle. *Am*
339 *J Sports Med.* 2022;50(2):415-422.
- 340 5. Cavaignac E, Castoldi M, Marot V, Courtot L, Gracia G, Reina N. Minimally Invasive
341 Ultrasound-Guided Anterolateral Ligament Reconstruction With Autologous 2-
342 Strand Gracilis Graft. *Arthrosc Tech.* 2019;8(7):e685-e689.
- 343 6. Cavaignac E, Marot V, Faruch M, et al. Hamstring Graft Incorporation According to
344 the Length of the Graft Inside Tunnels. *Am J Sports Med.* 2018;46(2):348-356.
- 345 7. Cavaignac E, Mesnier T, Marot V, et al. Effect of Lateral Extra-articular Tenodesis on
346 Anterior Cruciate Ligament Graft Incorporation. *Orthop J Sports Med.*
347 2020;8(11):232596712096009.

- 348 8. Cavaignac E, Pailhé R, Murgier J, Reina N, Lauwers F, Chiron P. Can the gracilis be
349 used to replace the anterior cruciate ligament in the knee? A cadaver study. *The*
350 *Knee*. 2014;21(6):1014-1017.
- 351 9. Cavaignac E, Pailhé R, Reina N, et al. Can the gracilis replace the anterior cruciate
352 ligament in the knee? A biomechanical study. *Int Orthop*. 2016;40(8):1647-1653.
- 353 10. Claes S, Verdonk P, Forsyth R, Bellemans J. The “Ligamentization” Process in
354 Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: What Happens to the Human Graft? A
355 Systematic Review of the Literature. *Am J Sports Med*. 2011;39(11):2476-2483.
- 356 11. Colombet P, Graveleau N, Jambou S. Incorporation of Hamstring Grafts Within the
357 Tibial Tunnel After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Magnetic Resonance
358 Imaging of Suspensory Fixation Versus Interference Screws. *Am J Sports Med*.
359 2016;44(11):2838-2845.
- 360 12. DeFazio MW, Curry EJ, Gustin MJ, et al. Return to Sport After ACL Reconstruction
361 With a BTB Versus Hamstring Tendon Autograft: A Systematic Review and Meta-
362 analysis. *Orthop J Sports Med*. 2020;8(12):232596712096491.
- 363 13. Faruch Bilfeld M, Cavaignac E, Wytrykowski K, et al. Anterolateral ligament injuries
364 in knees with an anterior cruciate ligament tear: Contribution of ultrasonography
365 and MRI. *Eur Radiol*. 2018;28(1):58-65.
- 366 14. Fules PJ, Madhav RT, Goddard RK, Newman-Sanders A, Mowbray MAS. Evaluation of
367 tibial bone tunnel enlargement using MRI scan cross-sectional area measurement
368 after autologous hamstring tendon ACL replacement. *The Knee*. 2003;10(1):87-91.

- 369 15. Ge Y, Li H, Tao H, Hua Y, Chen J, Chen S. Comparison of tendon–bone healing between
370 autografts and allografts after anterior cruciate ligament reconstruction using
371 magnetic resonance imaging. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(4):954-
372 960.
- 373 16. Gohil S, Annear PO, Breidahl W. Anterior cruciate ligament reconstruction using
374 autologous double hamstrings: a comparison of standard *versus* minimal
375 debridement techniques using MRI to assess revascularisation: A RANDOMISED
376 PROSPECTIVE STUDY WITH A ONE-YEAR FOLLOW-UP. *J Bone Joint Surg Br.*
377 2007;89-B(9):1165-1171.
- 378 17. Gracia G, Cavaignac M, Marot V, Mouarbes D, Laumonerie P, Cavaignac E.
379 Epidemiology of Combined Injuries of the Secondary Stabilizers in ACL-Deficient
380 Knees: Medial Meniscal Ramp Lesion, Lateral Meniscus Root Tear, and ALL Tear: A
381 Prospective Case Series of 602 Patients With ACL Tears From the SANTI Study
382 Group. *Am J Sports Med.* 2022;50(7):1843-1849.
- 383 18. Grassi A, Casali M, Macchiarola L, et al. Hamstring grafts for anterior cruciate
384 ligament reconstruction show better magnetic resonance features when tibial
385 insertion is preserved. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(2):507-518.
- 386 19. van Groningen B, van der Steen MC, Janssen DM, van Rhijn LW, van der Linden AN,
387 Janssen RPA. Assessment of Graft Maturity After Anterior Cruciate Ligament
388 Reconstruction Using Autografts: A Systematic Review of Biopsy and Magnetic
389 Resonance Imaging studies. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2020;2(4):e377-e388.
- 390 20. Gupta R, Bahadur R, Malhotra A, et al. Outcome of Hamstring Autograft With
391 Preserved Insertions Compared With Free Hamstring Autograft in Anterior Cruciate

- 392 Ligament Surgery at 2-Year Follow-up. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.*
393 2017;33(12):2208-2216.
- 394 21. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament
395 reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998;6(4):231-
396 240.
- 397 22. Howell SM, Clark JA, Blasier RD. Serial magnetic resonance imaging of hamstring
398 anterior cruciate ligament autografts during the first year of implantation: A
399 preliminary study. *Am J Sports Med.* 1991;19(1):42-47.
- 400 23. Kim SJ, Kim HK, Lee YT. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction
401 using autogenous hamstring tendon graft without detachment of the tibial insertion.
402 *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* 1997;13(5):656-660.
- 403 24. Li H, Chen J, Li H, Wu Z, Chen S. MRI-based ACL graft maturity does not predict
404 clinical and functional outcomes during the first year after ACL reconstruction. *Knee*
405 *Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(10):3171-3178.
- 406 25. Li H, Chen S, Tao H, Li H, Chen S. Correlation Analysis of Potential Factors Influencing
407 Graft Maturity After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.*
408 2014;2(10):232596711455355.
- 409 26. Liu S, Li H, Tao H, Sun Y, Chen S, Chen J. A Randomized Clinical Trial to Evaluate
410 Attached Hamstring Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Magnetic
411 Resonance Imaging. *Am J Sports Med.* 2018;46(5):1143-1149.

- 412 27. Liu S, Sun Y, Wan F, Ding Z, Chen S, Chen J. Advantages of an Attached
413 Semitendinosus Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a
414 Rabbit Model. *Am J Sports Med.* 2018;46(13):3227-3236.
- 415 28. Marcacci M, Zaffagnini S, Giordano G, Iacono F, Lo Presti M. Anterior Cruciate
416 Ligament Reconstruction Associated with Extra-articular Tenodesis: A Prospective
417 Clinical and Radiographic Evaluation with 10- to 13-Year Follow-up. *Am J Sports*
418 *Med.* 2009;37(4):707-714.
- 419 29. Marot V, Justo A, Alshankiti A, et al. Simple Knee Value: a simple evaluation
420 correlated to existing knee PROMs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*
421 2021;29(6):1952-1959.
- 422 30. Marot V, Valette A, Courtot L, Lucena T, Reina N, Cavaignac E. Outside-In Anterior
423 Cruciate Ligament Revision With Lateral Tenodesis and High-Strength Suture
424 Augmentation Is Easy to Perform With the Iliotibial Band. *Arthrosc Tech.*
425 2021;10(5):e1321-e1326.
- 426 31. Mesnier T, Cavaignac M, Marot V, Reina N, Cavaignac E. Knee Anterolateral Ligament
427 Reconstruction With Knotless Soft Anchor: Shallow Fixation Prevents Tunnel
428 Convergence. *Arthrosc Tech.* 2022;11(4):e511-e516.
- 429 32. Meynard P, Pelet H, Angelliaume A, et al. ACL reconstruction with lateral extra-
430 articular tenodesis using a continuous graft: 10-year outcomes of 50 cases. *Orthop*
431 *Traumatol Surg Res.* 2020;106(5):929-935.
- 432 33. Mouarbes D, Menetrey J, Marot V, Courtot L, Berard E, Cavaignac E. Anterior Cruciate
433 Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes for

- 434 Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone–Patellar Tendon–Bone and Hamstring-
435 Tendon Autografts. *Am J Sports Med.* 2019;47(14):3531-3540.
- 436 34. Muramatsu K, Hachiya Y, Izawa H. Serial evaluation of human anterior cruciate
437 ligament grafts by contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison of
438 allografts and autografts. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am*
439 *Int Arthrosc Assoc.* 2008;24(9):1038-1044.
- 440 35. Murgier J, Thomas P, Reina N, Sylvie R, Bérard E, Cavaignac E. Painful Palpation of
441 the Tibial Insertion of the Anterolateral Ligament Is Concordant With Acute
442 Anterolateral Ligament Injury. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(6):232596712093020.
- 443 36. Pailhé R, Cavaignac E, Murgier J, Laffosse JM, Swider P. Biomechanical study of ACL
444 reconstruction grafts: BIOMECHANICAL STUDY OF ACL RECONSTRUCTION
445 GRAFTS. *J Orthop Res.* 2015;33(8):1188-1196.
- 446 37. Panos JA, Webster KE, Hewett TE. Anterior cruciate ligament grafts display
447 differential maturation patterns on magnetic resonance imaging following
448 reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*
449 2020;28(7):2124-2138.
- 450 38. Papachristou G, Nikolaou V, Efstathopoulos N, et al. ACL reconstruction with
451 semitendinosus tendon autograft without detachment of its tibial insertion: a
452 histologic study in a rabbit model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*
453 2007;15(10):1175-1180.

- 454 39. Papachristou G, Sourlas J, Plessas S, Papachristou K. Arthroscopic ACL
455 reconstruction with Δ plasty: an innovative approach with hamstrings' transfer and
456 double tibial tunnel. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(4):420-426.
- 457 40. Pauvert A, Robert H, Gicquel P, et al. MRI study of the ligamentization of ACL grafts
458 in children with open growth plates. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018;104(8):S161-
459 S167.
- 460 41. Pauzenberger L, Syré S, Schurz M. "Ligamentization" in Hamstring Tendon Grafts
461 After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review of the
462 Literature and a Glimpse Into the Future. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.*
463 2013;29(10):1712-1721.
- 464 42. Putnis SE, Klasan A, Oshima T, et al. Magnetic Resonance Imaging Assessment of
465 Hamstring Graft Healing and Integration 1 and Minimum 2 Years after ACL
466 Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2022;50(8):2102-2110.
- 467 43. Putnis SE, Oshima T, Klasan A, et al. Magnetic Resonance Imaging 1 Year After
468 Hamstring Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Can Identify Those
469 at Higher Risk of Graft Failure: An Analysis of 250 Cases. *Am J Sports Med.*
470 2021;49(5):1270-1278.
- 471 44. Ruffilli A, Pagliuzzi G, Ferranti E, Busacca M, Capannelli D, Buda R. Hamstring graft
472 tibial insertion preservation versus detachment in anterior cruciate ligament
473 reconstruction: a prospective randomized comparative study. *Eur J Orthop Surg*
474 *Traumatol.* 2016;26(6):657-664.

- 475 45. Ruffilli A, Traina F, Evangelisti G, Borghi R, Perna F, Faldini C. Preservation of
476 hamstring tibial insertion in anterior cruciate ligament reconstruction: a review of
477 the current literature. *Musculoskelet Surg.* 2015;99(2):87-92.
- 478 46. Sharma A, Flanigan DC, Randall K, Magnussen RA. Does Gracilis Preservation Matter
479 in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Systematic Review. *Arthrosc J*
480 *Arthrosc Relat Surg.* 2016;32(6):1165-1173.
- 481 47. Sinha S, Naik AK, Maheshwari M, Sandanshiv S, Meena D, Arya RK. Anterior Cruciate
482 Ligament Reconstruction with Tibial Attachment Preserving Hamstring Graft
483 without Implant on Tibial Side. *Indian J Orthop.* 2018;52(2):170-176.
- 484 48. Sonnery-Cottet B, Freychet B, Murphy CG, Pupim BHB, Thaunat M. Anterior Cruciate
485 Ligament Reconstruction and Preservation: The Single-Anteromedial Bundle
486 Biological Augmentation (SAMBBA) Technique. *Arthrosc Tech.* 2014;3(6):e689-
487 e693.
- 488 49. Van Dyck P, Zazulia K, Smekens C, Heusdens CHW, Janssens T, Sijbers J. Assessment
489 of Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Conventional Magnetic
490 Resonance Imaging: A Systematic Literature Review. *Orthop J Sports Med.*
491 2019;7(6):232596711984901.
- 492 50. Weiler A, Peters G, Mäurer J, Unterhauser FN, Südkamp NP. Biomechanical
493 Properties and Vascularity of an Anterior Cruciate Ligament Graft can be Predicted
494 by Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging: A Two-Year Study in Sheep
495 <sup/>. *Am J Sports Med.* 2001;29(6):751-761.

- 496 51. Wytrykowski K, Swider P, Reina N, et al. Cadaveric Study Comparing the
497 Biomechanical Properties of Grafts Used for Knee Anterolateral Ligament
498 Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg*. 2016;32(11):2288-2294.
- 499 52. Zaffagnini S, Bruni D, Marcheggiani Muccioli GM, et al. Single-bundle patellar tendon
500 versus non-anatomical double-bundle hamstrings ACL reconstruction: a
501 prospective randomized study at 8-year minimum follow-up. *Knee Surg Sports
502 Traumatol Arthrosc*. 2011;19(3):390-397.
- 503 53. Zaffagnini S, Bruni D, Russo A, et al. ST/G ACL reconstruction: double strand plus
504 extra-articular sling vs double bundle, randomized study at 3-year follow-up: ST/G
505 ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(5):573-581.
- 506 54. Zaffagnini S, Golanò P, Farinas O, et al. Vascularity and neuroreceptors of the pes
507 anserinus: Anatomic Study: Vascularity of Pes Anserinus. *Clin Anat*. 2003;16(1):19-
508 24.
- 509 55. Zaffagnini S, Marcacci M, Lo Presti M, Giordano G, Iacono F, Neri MP. Prospective and
510 randomized evaluation of ACL reconstruction with three techniques: a clinical and
511 radiographic evaluation at 5 years follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*.
512 2006;14(11):1060-1069.
- 513 56. Zaffagnini S, Marcheggiani Muccioli GM, Bonanzinga T, Nitri M, Grassi A, Marcacci M.
514 Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction leaving
515 hamstrings tibial insertion intact: technical note. *Musculoskelet Surg*. 2013;97(1):39-
516 43.

- 517 57. Zhang Y, Liu S, Chen Q, Hu Y, Sun Y, Chen J. Maturity Progression of the Entire
518 Anterior Cruciate Ligament Graft of Insertion-Preserved Hamstring Tendons by 5
519 Years: A Prospective Randomized Controlled Study Based on Magnetic Resonance
520 Imaging Evaluation. *Am J Sports Med.* 2020;48(12):2970-2977.
- 521 58. Zhao L, Lu M, Deng M, Xing J, He L, Wang C. Outcome of bone-patellar tendon-bone
522 vs hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament reconstruction: A
523 meta-analysis of randomized controlled trials with a 5-year minimum follow-up.
524 *Medicine (Baltimore).* 2020;99(48):e23476.
- 525

21 **Abstract**

22 **Background:** It is well-known that the incorporation of an anterior cruciate ligament
23 (ACL) graft can be evaluated using the signal-to-noise quotient (SNQ) on MRI. The lower
24 the SNQ value, the better the graft incorporation. Other than the type of graft used, it is
25 still unclear which factors affect the SNQ.

26 **Purpose:** Determine which factors affect the incorporation of an ACL graft.

27 **Study design:** Cross-sectional study investigating the relationship between various
28 exposure factors and the occurrence of an "event" (graft incorporation measured with
29 the SNQ).

30 **Methods:** This prospective study enrolled 180 patients who were undergoing ACL
31 reconstruction: 90 who received a free semitendinosus (ST) graft and 90 who received a
32 ST graft with intact distal attachment. The main endpoint was the SNQ on MRI at 1 year
33 postoperative. The effect of the following parameters on SNQ was investigated: sex,
34 smoking habits, age at surgery, BMI, time to surgery, time to return to sports, type of sport
35 (in-line, pivot, contact), type of graft (ST or attached ST) and addition of lateral tenodesis.

36 **Results:** The following factors were significantly and independently associated with the
37 SNQ: type of graft ($\beta=-2.624668$; $p<.001$), age at the time of surgery
38 ($\beta=-0.7948476$; $p=.012$) and time elapsed between the injury event and surgery
39 ($\beta=-0.7137424$; $p=.046$).

40 **Conclusion:** Leaving the ST graft attached distally, being older at the time of surgery and
41 having more time elapsed between the injury event and ACL reconstruction surgery
42 contribute to better graft incorporation.

43

44 **Key terms** : ACL reconstruction, graft incorporation, risk factor, SNQ, ligamentization

45 **What is known about the subject** : Several studies have focused on the differences in
46 graft incorporation based on the type of graft used for ACL reconstruction. But the other
47 factors that can affect graft incorporation are not well defined. Few studies have
48 investigated the factors affecting the incorporation of an ACL graft using MRI analysis.

49 **What this study adds to existing knowledge** : Our study found that a short time to
50 surgery and younger age are risk factors for poor graft incorporation (notwithstanding
51 the surgical technique used). This is the first study to enroll 180 patients to investigate
52 the factors affecting graft incorporation after ACL reconstruction.

53 **Introduction**

54 Currently, the postoperative evaluation of anterior cruciate ligament (ACL)
55 reconstruction surgery involves both clinical^{4,19,34,50} and imaging criteria^{12,13,20}. Magnetic
56 resonance imaging (MRI) is the most used imaging modality for evaluating graft
57 incorporation after ACL reconstruction^{16,51,52}.

58 Several methods using the signal in the graft can be used to determine its incorporation.
59 The signal to noise quotient (SNQ) is a reliable and reproducible marker that is widely
60 used^{6,7,27,28,59}. It has been shown that graft incorporation depends on which surgical
61 technique is used: the SNQ is lower when lateral tenodesis is added to the ACL
62 reconstruction or when the hamstring tendon graft remains attached to its tibial
63 insertion^{5-7,15,29,46,59}.

64 The scientific literature describes several factors that affect the retear rate after ACL
65 reconstruction^{11,21,31,33,39}. However, there is little data on the factors that affect
66 incorporation of the graft^{9,10,23,28,35}. The published data on these factors is sparse and
67 inconsistent.

68 Thus, we felt it was relevant to identify which factors can affect graft incorporation, as
69 this would allow us to determine which patients are at risk for early retear and to attempt
70 to prevent it from happening. The aim of this study was to identify – using the SNQ
71 measured on MRI – which factors influence ACL graft incorporation. The hypothesis is
72 that “exposure” to certain factors can negatively or positively affect graft incorporation.

73

74

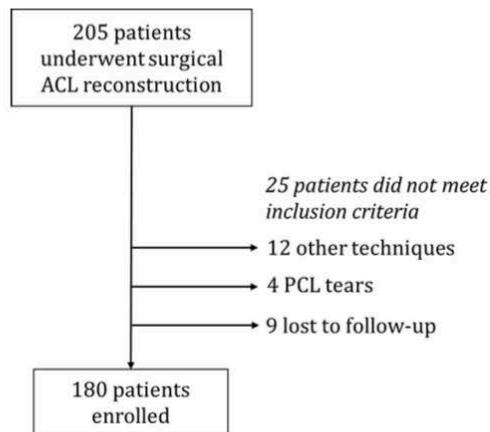
75 **Methods**

76 This was a cross-sectional study investigating the relationship between exposure factors
77 and the occurrence of an “event” (graft incorporation measured by the SNQ). Patients
78 were enrolled prospectively in the context of a standard of care protocol. At our hospital,
79 ACL reconstruction is currently done using a semitendinosus (ST) graft. The patients who
80 underwent ACL reconstruction at our hospital between July 2019 and February 2020
81 were eligible for this study. The study was approved by our institutional review board
82 (RnIPH 2021).

83 **Patients**

84 During the study period, 205 patients with a torn ACL were eligible for ACL
85 reconstruction. The inclusion criteria were age >18 years and <50 years, clinical and MRI
86 diagnosis of ACL tear, healthy contralateral knee, agreed to be reviewed at follow-up visit
87 1 year after surgery, underwent ACL reconstruction using ST or distally attached ST graft.
88 The exclusion criteria were a PCL tear, MCL tear < grade 3, LCL tear < grade 3, cartilage
89 lesion \geq grade 2 (Outerbridge classification), associated fracture, incorrect tunnel
90 positioning, prior injury to the knee in question that required surgery, patellofemoral
91 pain, systemic disease.

92 Of the 205 eligible patients, 12 underwent ACL reconstruction using a different technique
93 (3 both hamstring tendons, 8 fascia lata, 1 quadriceps tendon), 4 had a PCL tear, and 9 did
94 not attend the 1-year postoperative follow-up visit (Figure 1).



95

96 **Figure 1 - study flow chart: patients enrolled between July 2019 and February 2020**

97 ACL: anterior cruciate ligament, PCL: posterior cruciate ligament

98

99 **Follow-up**

100 The patients were reviewed in person at 1 year postoperative by the surgeon who did the

101 surgery. A standard clinical examination was done along with an MRI exam.

102 **Outcomes**

103 The graft incorporation was evaluated on MRI at 1 year postoperative using a 3T MRI unit

104 (Magnetom Skyra, Siemens) that had a 15-channel knee coil. The examination involved

105 T1-weighted and fat-suppressed proton density-weighted sequences in all three planes.

106 The SNQ^{6,7,14,16,20,27,28,40,52,59} was calculated using the following formula:

107
$$SNQ = \frac{\text{Graft signal} - \text{PCL signal}}{\text{Background signal}}$$

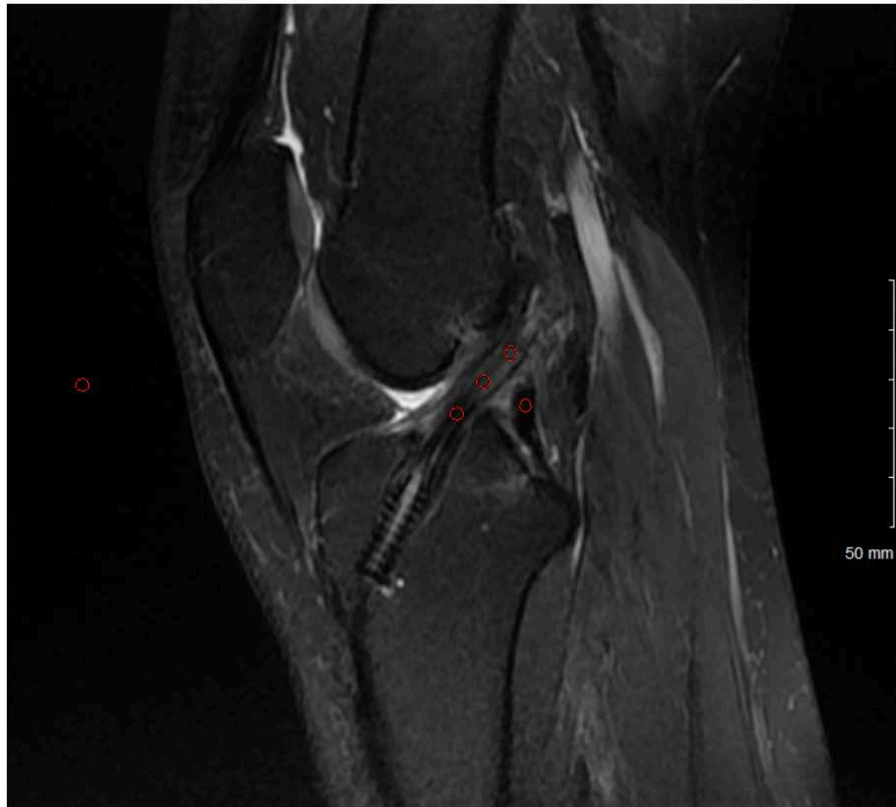
108 The signal was measured in the graft in 0.05 cm² circular regions of interest on oblique

109 images, tangent to a transverse slice through the ACL in its intra-articular portion at three

110 levels (distal, middle, proximal). The PCL signal was measured in its middle portion. The

111 background signal was measured 2 cm in front of the patellar tendon. The SNQ reflects

112 on the graft's mechanical strength (Figure 2). The lower the SNQ values, the better the
113 graft is incorporated since the graft's signal resembles that of the (intact) PCL.



114
115 **Figure 2** – Placement of circular ROIs (0.05 cm²) to calculate the SNQ; 1 ROI 2 cm in front
116 of the patellar tendon, 3 ROI (1 proximal, 1 middle, 1 distal) on the anterior cruciate
117 ligament; 1 ROI on the posterior cruciate ligament, ROI: region of interest.

118

119 **Exposure factors**

120 The effect of the following parameters on SNQ at 1 year postoperative was investigated:
121 sex, smoking habits, age at surgery, body mass index (BMI), time to surgery, time to
122 return to sports, type of sport (in-line, pivot, contact), type of graft (free ST or attached
123 ST) and addition of lateral tenodesis.

124 **Statistical analysis**

125 Before analyses, verification of missing or aberrant or inconsistent data was conducted.
126 After corrections, the database was locked. Analysis was performed on the locked
127 database. We first described baseline characteristics of patients using the appropriate
128 descriptive statistics according to the type of variables. Descriptive statistics included
129 mean with standard deviation (SD) for continuous variables and number of non-missing
130 observations with frequency (%) for categorical variables.

131 The analysis of factors associated with SNQ was based first on the comparison of SNQ
132 between groups using Mann-Whitney or Kruskal-Wallis tests (depending on the number
133 of groups). Because the relationship between continuous variables and the SNQ was not
134 linear, continuous variables were analyzed using the method of quartiles. The variables
135 significantly related with SNQ in a univariate analysis (significance threshold of $<.20$)
136 were introduced into a linear regression model. The final model comprising the variables
137 significantly (at the threshold of $<.05$) and independently associated with the SNQ was
138 obtained by a step-by-step, descending method. Intermediate nested models were
139 compared using the likelihood ratio test. The interactions between the independent
140 variables in the final model were evaluated [but no interaction was significant]. The
141 suitability of the model to the data was tested. All reported p values were two-tailed, and
142 the significance threshold was $<.05$. Statistical analyses were performed using STATA
143 software 17.0 (STATA Corp., College Station, TX, USA).

144

145

146

147 **Results**

148 In the end, the study cohort consisted of 180 patients who had undergone ACL
 149 reconstruction. The patients characteristics are listed in Table 1.

150

151 **TABLE 1 - Patient characteristics^a**

	N = 180 patients
Age at surgery (years)	27.47 (± 9.10)
Sex male/female, n (%)	111 (62%) / 69 (38%)
BMI (kg/m²)	23.91 (± 3.85)
Smoker, n (%)	40 (22%)
Time to surgery (weeks)	26.24 (± 37.85)
Graft diameter (mm)	8.83 (± 0.82)
MM lesion, n (%)	21 (12%)
LM lesion, n (%)	30 (17%)
LAL tear, n (%)	112 (62%)
Preoperative Tegner score (/10)	7.53 (± 1.83)
free ST(n)/attached ST(n)	90/90
LT, n(%)	119 (66%)
SNQ at 1 year postoperative	2.53 (± 2.55)

152

153 a. Values are mean ± SD except if indicated otherwise
 154 BMI body mass index – LT lateral tenodesis – MM medial meniscus – LM lateral
 155 meniscus – ALL anterolateral ligament – SNQ signal to noise quotient

156

157 The relationship between potential risk factors and the SNQ values was investigated. In
 158 the univariate analysis, at a threshold of .05, there was no significant relationship
 159 between sex, smoking habits, BMI, time to surgery, type of sport and the SNQ value. Age

160 at surgery (p=.0012), time to return to sports (p=.0235), reconstruction with an attached
 161 ST graft (p<.0001) and performing lateral tenodesis (p<.001) were significantly
 162 associated with SNQ (Table 2).

163 **TABLE 2 – Univariate analysis of factors associated with the SNQ at 1 year**
 164 **postoperative**

Factor		SNQ		
		Mean	SD	p
Sex	<i>Female</i>	2.31	2.25	0.430
	<i>Male</i>	2.67	2.72	
Smoking habits	<i>Smoker</i>	2.80	2.67	0.432
	<i>Non-smoker</i>	2.46	2.52	
Age	<i>1st quartile</i>	3.10	2.20	0.0051
	<i>2nd quartile</i>	3.10	3.10	
	<i>3rd quartile</i>	1.80	1.80	
	<i>4th quartile</i>	2.20	2.70	
BMI	<i>1st quartile</i>	2.40	2.00	0.7976
	<i>2nd quartile</i>	2.30	2.20	
	<i>3rd quartile</i>	3.00	3.30	
	<i>4th quartile</i>	2.50	2.50	
Time to surgery	<i>1st quartile</i>	3.20	3.20	0.1273
	<i>2nd quartile</i>	2.00	2.40	
	<i>3rd quartile</i>	2.30	2.30	
	<i>4th quartile</i>	2.50	2.00	
Time to return to sports	<i>1st quartile</i>	1.80	2.20	0.0853
	<i>2nd quartile</i>	2.40	2.20	
	<i>3rd quartile</i>	2.90	2.60	
	<i>4th quartile</i>	2.80	2.70	
Type of	<i>Inline</i>	3.30	3.30	0.2109

sport	Pivot	2.80	2.60	
	Contact	2.30	2.40	
Type of surgery	ST	3.91	2.86	<0.001
	ST attached	1.15	0.85	
LT	Yes	2.98	2.64	<0.001
	No	1.65	2.11	

165 *LT lateral tenodesis – ST semitendinosus – BMI body mass index*

166

167 The multivariate analysis (Table 3) showed that older age at the time of surgery (*Q3-Q4*
168 *vs Q1-Q2*; $\beta = -0.7948476$; $p = .012$), a longer time elapsed between the injury event and
169 reconstruction surgery (*Q2-Q3-Q4 vs Q1*; $\beta = -0.7137424$; $p = .046$) and surgery with an
170 attached ST graft ($\beta = -2.624668$; $p < .001$) significantly contributed to better graft
171 incorporation.

172 **TABLE 3 – Multivariate analysis of factors independently and significantly**
173 **associated with the SNQ**

	β coefficient	<i>p</i> value	95% Confidence interval
<i>Attached ST graft (vs free ST)</i>	-2.62	<0.001	-3.25; -2.00
<i>Age at surgery (Q3-Q4 vs Q1-Q2)</i>	-0.79	0.012	-1.42; -0.17
<i>Time elapsed from injury to surgery (Q2-Q3-Q4 vs Q1)</i>	-0.71	0.046	-1.41; -0.01

174 Q quartile

175 **Discussion**

176 Our hypothesis is confirmed since several factors affect ACL graft incorporation. Being
177 older, having more time between the injury event and surgery, and using a distally
178 attached ST graft are significantly and independently associated with low SNQ, which
179 indicates better graft incorporation.

180 Leaving the ST graft attached distally was expected to affect graft incorporation. Vari et
181 al (Preserving the semitendinosus distal attachment improves graft incorporation during
182 ACL reconstruction, *AJSM*, Under Review) found better graft incorporation when the ST
183 graft's tibial insertion is preserved. The MRI results and functional outcomes of distally
184 intact hamstring grafts have been published^{3,5,15,18,29,32,37,42,46-48,55-57}. The better results are
185 attributed to better vascularization^{41,49,58} and double fixation at the tibia that increases
186 the graft's pull-out strength^{2,30}. We also believe that surgical techniques that preserve the
187 ACL remnant in the notch induce better healing and graft incorporation because of the
188 supply of vascular, nerve and cellular elements^{25,49}.

189 Graft retears after ACL reconstruction are related to the intensity of the "retear" event,
190 and also to the incorporation of the graft. Ménétrey et al³⁵ were the first to describe the
191 concept of a biological failure of ACL graft integration. Various factors such as necrotic
192 extension of the graft, alterations of the vascularization and cellular proliferation can
193 contribute to failed incorporation. For this reason, it is crucial to avoid any and all factors
194 that can interfere with this process. Good graft incorporation is related to the biological
195 events responsible for graft ligamentization described by Weiler et al⁵².

196 In our study, the female sex was not a risk factor for poor graft incorporation. Kiapour et
197 al²³ showed in an animal study that the ACL in female pigs had significantly lower mean

198 normalized graft yield load (difference, 117 ± 91 N; ratio, 0.93; effect size, 0.6; $p = .215$)
199 and had significantly greater side-to-side differences in AP knee laxity at 30° (0.7 ± 0.3
200 mm; ratio, 1.32; effect size, 1.1; $p = .033$) and 90° flexion (0.5 ± 0.2 mm; ratio, 1.24; effect
201 size, 1.1; $p = .034$) relative to male pigs. This can be explained by the presence of specific
202 receptors for relaxin – a hormone that induces greater ligament laxity – which are present
203 only in females⁹. We believe that these results can be explained in two ways: either the
204 female sex is not a risk factor for poor graft incorporation or hormone variations in
205 women actually affect the SNQ value. Mok et al³⁸ showed through a systematic literature
206 review that there was no significant difference between men and women in the surgical
207 revision rate after ACL reconstruction (odds ratio, 0.85 [95% CI: 0.45-1.60]; $P = .61$; $I^2 =$
208 0%) and that the retear rate was significantly higher in men than women (odds ratio, 1,35
209 [95% CI: 1.22-1.50] ; $P < .01$; $I^2 = 0\%$).

210 In our study, being a smoker did not negatively impact graft incorporation. However,
211 tobacco and nicotine use have a known negative impact on healing of skin wounds⁵³,
212 fractures¹⁷, microvascularisation, angiogenesis and cell proliferation. In their study,
213 Karim et al²² found lower mean IKDC score postoperatively in smokers (60.8 vs 70.1;
214 $p < 0.001$). The statistical power in our study might not have been high enough to detect
215 this effect.

216 In our study, the graft incorporation at 1 year postoperative was better in older patients
217 ($r = -0.7948476$; $p = 0.012$). Obviously, this factor is not modifiable. This finding is
218 consistent with study by Pullen et al.⁴⁴ who found that being ≥ 35 years old was a
219 protective factor against graft retear. This may be due to the lower level and less intense
220 sports participation and activities of daily living in older patients. It would be interesting

221 to compare larger cohorts by separating them into age brackets to confirm or reject this
222 hypothesis.

223 Longer time elapsed between the injury event and date of ACL reconstruction contributed
224 to better graft incorporation ($r=-1.351043$; $p=.022$). This may be due to the heightened
225 inflammatory response immediately after the injury event²⁴. Doing the reconstruction
226 surgery right away could trigger a new cycle of inflammation that might be deleterious to
227 healing⁵⁴. Also, the patients who were operated soon after their knee injury occurred may
228 not have completely recovered their quadriceps activity (concept of arthrogenic muscle
229 inhibition)²⁶, causing an extension deficit that contributes to postoperative
230 complications^{8,43}.

231 We also believe that preserving the ACL remnant during surgery is key to ensuring good
232 graft incorporation. This factor was not evaluated in our study, as we routinely attempt
233 to preserve it when doing ACL reconstruction surgery⁴⁹. Currently, the major goals of ACL
234 reconstruction are to be as conservative and biological as possible¹: preserve the graft's
235 tibial attachment^{36,49} (contributes vascularization, innervation, additional fixation),
236 preserve as much of the ACL remnant as possible²⁵, make a tibial tunnel that is not too
237 long⁶ and also preserve the Sharpey fibers that are the connection to bony tissue.

238 The current study has several limitations. First, this was a single center study that mainly
239 enrolled patients from the southwestern region of France, which could contribute to a
240 selection bias. Second, the SNQ was determined at 1 year postoperative, a time point that
241 is not long enough to capture most retears (only 1 in this cohort), the outcome that is the
242 most convincing evidence of poor graft incorporation. It would be interesting to follow
243 this cohort longer to define risk factors related to clinical criteria such as re-tear or
244 instability instead of solely an MRI result. This is exactly what was done by Putnis et al.⁴⁵

245 who showed that for MRI data, a 1-year time point was sufficient to predict the risk of
246 retear in the longer term.

247 The strengths of our study are the high-quality methods, the fact that all patients were
248 prescribed the same postoperative rehabilitation protocol and that the surgery and 1
249 year follow-up visit were all done by the same surgeon. It is also important to point out
250 the large number of patients enrolled in this study.

251

252 **Conclusion**

253 Leaving the ST graft attached distally, being older at the time of surgery and having more
254 time elapsed between the injury event and ACL reconstruction surgery contribute to
255 better graft incorporation.

256

- 257 1. Andriolo L, Di Matteo B, Kon E, Filardo G, Venieri G, Marcacci M. PRP Augmentation
258 for ACL Reconstruction. *BioMed Res Int*. 2015;2015:1-15.
- 259 2. Bahlau D, Clavert P, Favreau H, et al. Mechanical advantage of preserving the
260 hamstring tibial insertion for anterior cruciate ligament reconstruction – A cadaver
261 study. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019;105(1):89-93.
- 262 3. Bahlau D, Favreau H, Eichler D, Lustig S, Bonnomet F, Ehlinger M. Clinical,
263 functional, and isokinetic study of a prospective series of anterior cruciate ligament
264 ligamentoplasty with pedicular hamstrings. *Int Orthop*. 2019;43(11):2557-2562.

- 265 4. Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, Steadman JR. The
266 reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity
267 scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am J Sports*
268 *Med.* 2009;37(5):890-897.
- 269 5. Buda R, Di Caprio F, Giuriati L, Luciani D, Busacca M, Giannini S. Partial ACL tears
270 augmented with distally inserted hamstring tendons and over-the-top fixation: An
271 MRI evaluation. *The Knee.* 2008;15(2):111-116.
- 272 6. Cavaignac E, Marot V, Faruch M, et al. Hamstring Graft Incorporation According to
273 the Length of the Graft Inside Tunnels. *Am J Sports Med.* 2018;46(2):348-356.
- 274 7. Cavaignac E, Mesnier T, Marot V, et al. Effect of Lateral Extra-articular Tenodesis on
275 Anterior Cruciate Ligament Graft Incorporation. *Orthop J Sports Med.*
276 2020;8(11):232596712096009.
- 277 8. Delaloye JR, Murar J, Vieira TD, et al. Knee Extension Deficit in the Early
278 Postoperative Period Predisposes to Cyclops Syndrome After Anterior Cruciate
279 Ligament Reconstruction: A Risk Factor Analysis in 3633 Patients From the SANTI
280 Study Group Database. *Am J Sports Med.* 2020;48(3):565-572.
- 281 9. Drago J, Lee RS, Benhaim P, Finerman GAM, Hame SL. Relaxin receptors in the
282 human female anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2003;31(4):577-584.
- 283 10. van Eck CF, Kropf EJ, Romanowski JR, et al. ACL graft re-rupture after double-
284 bundle reconstruction: factors that influence the intra-articular pattern of injury.
285 *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2011;19(3):340-346.

- 286 11. Firth AD, Bryant DM, Litchfield R, et al. Predictors of Graft Failure in Young Active
287 Patients Undergoing Hamstring Autograft Anterior Cruciate Ligament
288 Reconstruction With or Without a Lateral Extra-articular Tenodesis: The Stability
289 Experience. *Am J Sports Med.* 2022;50(2):384-395.
- 290 12. Fules PJ, Madhav RT, Goddard RK, Newman-Sanders A, Mowbray MAS. Evaluation
291 of tibial bone tunnel enlargement using MRI scan cross-sectional area
292 measurement after autologous hamstring tendon ACL replacement. *The Knee.*
293 2003;10(1):87-91.
- 294 13. Ge Y, Li H, Tao H, Hua Y, Chen J, Chen S. Comparison of tendon–bone healing
295 between autografts and allografts after anterior cruciate ligament reconstruction
296 using magnetic resonance imaging. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*
297 2015;23(4):954-960.
- 298 14. Gohil S, Annear PO, Breidahl W. Anterior cruciate ligament reconstruction using
299 autologous double hamstrings: a comparison of standard *versus* minimal
300 debridement techniques using MRI to assess revascularisation: A RANDOMISED
301 PROSPECTIVE STUDY WITH A ONE-YEAR FOLLOW-UP. *J Bone Joint Surg Br.*
302 2007;89-B(9):1165-1171.
- 303 15. Grassi A, Casali M, Macchiarola L, et al. Hamstring grafts for anterior cruciate
304 ligament reconstruction show better magnetic resonance features when tibial
305 insertion is preserved. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(2):507-518.
- 306 16. van Groningen B, van der Steen MC, Janssen DM, van Rhijn LW, van der Linden AN,
307 Janssen RPA. Assessment of Graft Maturity After Anterior Cruciate Ligament

308 Reconstruction Using Autografts: A Systematic Review of Biopsy and Magnetic
309 Resonance Imaging studies. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2020;2(4):e377-e388.

310 17. Gullihorn L, Karpman R, Lippiello L. Differential effects of nicotine and smoke
311 condensate on bone cell metabolic activity. *J Orthop Trauma.* 2005;19(1):17-22.

312 18. Gupta R, Bahadur R, Malhotra A, et al. Outcome of Hamstring Autograft With
313 Preserved Insertions Compared With Free Hamstring Autograft in Anterior
314 Cruciate Ligament Surgery at 2-Year Follow-up. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.*
315 2017;33(12):2208-2216.

316 19. Hefti E, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with
317 the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993;1(3-4):226-234.

318 20. Howell SM, Clark JA, Blasier RD. Serial magnetic resonance imaging of hamstring
319 anterior cruciate ligament autografts during the first year of implantation: A
320 preliminary study. *Am J Sports Med.* 1991;19(1):42-47.

321 21. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, et al. Risk Factors and Predictors of
322 Subsequent ACL Injury in Either Knee After ACL Reconstruction: Prospective
323 Analysis of 2488 Primary ACL Reconstructions From the MOON Cohort. *Am J Sports*
324 *Med.* 2015;43(7):1583-1590.

325 22. Karim A, Pandit H, Murray J, Wandless F, Thomas NP. Smoking and reconstruction
326 of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(8):1027-1031.

327 23. Kiapour AM, Fleming BC, Proffen BL, Murray MM. Sex Influences the Biomechanical
328 Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Preclinical Large
329 Animal Model. *Am J Sports Med.* 2015;43(7):1623-1631.

- 330 24. Kim-Wang SY, Holt AG, McGowan AM, et al. Immune cell profiles in synovial fluid
331 after anterior cruciate ligament and meniscus injuries. *Arthritis Res Ther.*
332 2021;23(1):280.
- 333 25. Lee BI, Kim BM, Kho DH, Kwon SW, Kim HJ, Hwang HR. Does the tibial remnant of
334 the anterior cruciate ligament promote ligamentization? *The Knee.*
335 2016;23(6):1133-1142.
- 336 26. Lepley AS, Lepley LK. Mechanisms of Arthrogenic Muscle Inhibition. *J Sport Rehabil.*
337 2022;31(6):707-716.
- 338 27. Li H, Chen J, Li H, Wu Z, Chen S. MRI-based ACL graft maturity does not predict
339 clinical and functional outcomes during the first year after ACL reconstruction.
340 *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(10):3171-3178.
- 341 28. Li H, Chen S, Tao H, Li H, Chen S. Correlation Analysis of Potential Factors
342 Influencing Graft Maturity After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.
343 *Orthop J Sports Med.* 2014;2(10):232596711455355.
- 344 29. Liu S, Li H, Tao H, Sun Y, Chen S, Chen J. A Randomized Clinical Trial to Evaluate
345 Attached Hamstring Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Magnetic
346 Resonance Imaging. *Am J Sports Med.* 2018;46(5):1143-1149.
- 347 30. Liu S, Sun Y, Wan F, Ding Z, Chen S, Chen J. Advantages of an Attached
348 Semitendinosus Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a
349 Rabbit Model. *Am J Sports Med.* 2018;46(13):3227-3236.

- 350 31. Liukkonen RJ, Ponkilainen VT, Reito A. Revision Rates After Primary ACL
351 Reconstruction Performed Between 1969 and 2018: A Systematic Review and
352 Metaregression Analysis. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(8):23259671221110190.
- 353 32. Marcacci M, Zaffagnini S, Giordano G, Iacono F, Lo Presti M. Anterior Cruciate
354 Ligament Reconstruction Associated with Extra-articular Tenodesis: A Prospective
355 Clinical and Radiographic Evaluation with 10- to 13-Year Follow-up. *Am J Sports*
356 *Med.* 2009;37(4):707-714.
- 357 33. Marmura H, Getgood AMJ, Spindler KP, Kattan MW, Briskin I, Bryant DM. Validation
358 of a Risk Calculator to Personalize Graft Choice and Reduce Rupture Rates for
359 Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2021;49(7):1777-
360 1785.
- 361 34. Marot V, Justo A, Alshankiti A, et al. Simple Knee Value: a simple evaluation
362 correlated to existing knee PROMs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*
363 2021;29(6):1952-1959.
- 364 35. Ménétrey J, Duthon VB, Laumonier T, Fritschy D. "Biological failure" of the anterior
365 cruciate ligament graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.*
366 2008;16(3):224-231.
- 367 36. Mesnier T, Cavaignac M, Marot V, Reina N, Cavaignac E. Knee Anterolateral
368 Ligament Reconstruction With Knotless Soft Anchor: Shallow Fixation Prevents
369 Tunnel Convergence. *Arthrosc Tech.* 2022;11(4):e511-e516.

- 370 37. Meynard P, Pelet H, Angelliaume A, et al. ACL reconstruction with lateral extra-
371 articular tenodesis using a continuous graft: 10-year outcomes of 50 cases. *Orthop*
372 *Traumatol Surg Res.* 2020;106(5):929-935.
- 373 38. Mok AC, Fancher AJ, Vopat ML, et al. Sex-Specific Outcomes After Anterior Cruciate
374 Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports*
375 *Med.* 2022;10(2):232596712210768.
- 376 39. MOON Knee Group, Spindler KP, Huston LJ, et al. Anterior Cruciate Ligament
377 Reconstruction in High School and College-Aged Athletes: Does Autograft Choice
378 Influence Anterior Cruciate Ligament Revision Rates? *Am J Sports Med.*
379 2020;48(2):298-309.
- 380 40. Muramatsu K, Hachiya Y, Izawa H. Serial evaluation of human anterior cruciate
381 ligament grafts by contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison of
382 allografts and autografts. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N*
383 *Am Int Arthrosc Assoc.* 2008;24(9):1038-1044.
- 384 41. Papachristou G, Nikolaou V, Efstathopoulos N, et al. ACL reconstruction with
385 semitendinosus tendon autograft without detachment of its tibial insertion: a
386 histologic study in a rabbit model. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*
387 2007;15(10):1175-1180.
- 388 42. Papachristou G, Sourlas J, Plessas S, Papachristou K. Arthroscopic ACL
389 reconstruction with Δ plasty: an innovative approach with hamstrings' transfer
390 and double tibial tunnel. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(4):420-
391 426.

- 392 43. Pietrosimone B, Lepley AS, Kuenze C, et al. Arthrogenic Muscle Inhibition Following
393 Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Sport Rehabil.* 2022;31(6):694-706.
- 394 44. Pullen WM, Bryant B, Gaskill T, Sicignano N, Evans AM, DeMaio M. Predictors of
395 Revision Surgery After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports*
396 *Med.* 2016;44(12):3140-3145.
- 397 45. Putnis SE, Oshima T, Klasan A, et al. Magnetic Resonance Imaging 1 Year After
398 Hamstring Autograft Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Can Identify
399 Those at Higher Risk of Graft Failure: An Analysis of 250 Cases. *Am J Sports Med.*
400 2021;49(5):1270-1278.
- 401 46. Ruffilli A, Pagliuzzi G, Ferranti E, Busacca M, Capannelli D, Buda R. Hamstring graft
402 tibial insertion preservation versus detachment in anterior cruciate ligament
403 reconstruction: a prospective randomized comparative study. *Eur J Orthop Surg*
404 *Traumatol.* 2016;26(6):657-664.
- 405 47. Ruffilli A, Traina F, Evangelisti G, Borghi R, Perna F, Faldini C. Preservation of
406 hamstring tibial insertion in anterior cruciate ligament reconstruction: a review of
407 the current literature. *Musculoskelet Surg.* 2015;99(2):87-92.
- 408 48. Sinha S, Naik AK, Maheshwari M, Sandanshiv S, Meena D, Arya RK. Anterior
409 Cruciate Ligament Reconstruction with Tibial Attachment Preserving Hamstring
410 Graft without Implant on Tibial Side. *Indian J Orthop.* 2018;52(2):170-176.
- 411 49. Sonnery-Cottet B, Freychet B, Murphy CG, Pupim BHB, Thaunat M. Anterior
412 Cruciate Ligament Reconstruction and Preservation: The Single–Anteromedial

- 413 Bundle Biological Augmentation (SAMBBA) Technique. *Arthrosc Tech*.
414 2014;3(6):e689-e693.
- 415 50. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin*
416 *Orthop*. 1985;(198):43-49.
- 417 51. Van Dyck P, Zazulia K, Smekens C, Heusdens CHW, Janssens T, Sijbers J. Assessment
418 of Anterior Cruciate Ligament Graft Maturity With Conventional Magnetic
419 Resonance Imaging: A Systematic Literature Review. *Orthop J Sports Med*.
420 2019;7(6):232596711984901.
- 421 52. Weiler A, Peters G, Mäurer J, Unterhauser FN, Südkamp NP. Biomechanical
422 Properties and Vascularity of an Anterior Cruciate Ligament Graft can be Predicted
423 by Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging: A Two-Year Study in Sheep
424 <sup/>. *Am J Sports Med*. 2001;29(6):751-761.
- 425 53. Wong LS, Martins-Green M. Firsthand cigarette smoke alters fibroblast migration
426 and survival: implications for impaired healing. *Wound Repair Regen Off Publ*
427 *Wound Heal Soc Eur Tissue Repair Soc*. 2004;12(4):471-484.
- 428 54. Yao S, Yung PSH, Lui PPY. Tackling the Challenges of Graft Healing After Anterior
429 Cruciate Ligament Reconstruction—Thinking From the Endpoint. *Front Bioeng*
430 *Biotechnol*. 2021;9:756930.
- 431 55. Zaffagnini S, Bruni D, Marcheggiani Muccioli GM, et al. Single-bundle patellar
432 tendon versus non-anatomical double-bundle hamstrings ACL reconstruction: a
433 prospective randomized study at 8-year minimum follow-up. *Knee Surg Sports*
434 *Traumatol Arthrosc*. 2011;19(3):390-397.

-
- 435 56. Zaffagnini S, Bruni D, Russo A, et al. ST/G ACL reconstruction: double strand plus
436 extra-articular sling vs double bundle, randomized study at 3-year follow-up: ST/G
437 ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(5):573-581.
- 438 57. Zaffagnini S, Marcacci M, Lo Presti M, Giordano G, Iacono F, Neri MP. Prospective
439 and randomized evaluation of ACL reconstruction with three techniques: a clinical
440 and radiographic evaluation at 5 years follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol*
441 *Arthrosc*. 2006;14(11):1060-1069.
- 442 58. Zaffagnini S, Marcheggiani Muccioli GM, Bonanzinga T, Nitri M, Grassi A, Marcacci
443 M. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction leaving
444 hamstrings tibial insertion intact: technical note. *Musculoskelet Surg*.
445 2013;97(1):39-43.
- 446 59. Zhang Y, Liu S, Chen Q, Hu Y, Sun Y, Chen J. Maturity Progression of the Entire
447 Anterior Cruciate Ligament Graft of Insertion-Preserved Hamstring Tendons by 5
448 Years: A Prospective Randomized Controlled Study Based on Magnetic Resonance
449 Imaging Evaluation. *Am J Sports Med*. 2020;48(12):2970-2977.

450

451

EVALUATION DES GREFFONS AUX ISCHIO-JAMBIERS PEDICULES DANS LA RECONSTRUCTION DU LIGAMENT CROISE ANTERIEUR

RESUME EN FRANÇAIS :

Introduction : Les greffes aux ischio-jambiers (IJ) en préservant leur insertion tibiale (NDHT) sont de plus en plus utilisées pour les reconstructions du ligament croisé antérieur (RLCA). L'incorporation d'un greffon peut être évaluée par un critère IRM : le Signal To Noise Quotient (SNQ).

Matériel et Méthode : Il s'agissait de 3 études, une revue systématique de la littérature avec méta-analyse, une étude clinique comparative et une étude de facteurs de risque. Les articles publiés sur les études cliniques pertinentes à la RLCA utilisant des techniques aux IJ pédiculés ont été identifiés. Pour l'étude comparative : 180 patients ayant bénéficié d'une RLCA ont été recrutés prospectivement : 90 techniques au demi-tendineux (DT) et 90 techniques au DT pédiculé (DTp). Le critère de jugement principal était l'évaluation IRM du SNQ à 1 an. Une association avec les potentiels facteurs suivants a été recherchée : le sexe, le tabagisme, l'âge au moment de la chirurgie, l'IMC, le délai lésion initiale – chirurgie, le délai chirurgie – reprise du sport, le type de sport pratiqué (ligne, pivot, pivot-contact), le type de chirurgie (DT ou DTp) et la réalisation d'un retour externe.

Résultats : 12 articles regroupant 665 NDHT ont été analysés, retrouvant des résultats similaires aux techniques non pédiculées. Le SNQ moyen ajusté était significativement inférieur dans le groupe DTp (1.18 vs 3.88, $p < 0.001$). Les facteurs significativement et indépendamment associés au SNQ sont le type de chirurgie ($p < 0.001$) en faveur du DTp, l'âge élevé au moment de la chirurgie ($p = 0.012$) et le délai lésion-chirurgie plus long ($p = 0.046$).

Conclusion : Les techniques NDHT donnent des résultats au moins équivalents aux techniques non pédiculées. A 1 an post-opératoire, l'incorporation IRM d'un greffon au DTp est meilleure. Un âge et un délai lésion-chirurgie élevés sont des facteurs de bonne incorporation du greffon.

TITRE EN ANGLAIS : Assessment of pedicled hamstrings graft in ACL reconstruction

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique en chirurgie orthopédique et traumatologique

MOTS-CLÉS : reconstruction du LCA, tendons ischio-jambiers, pédiculés, SNQ, ligamentisation, incorporation du greffon, facteurs de risque

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de médecine Toulouse-Purpan,
37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse

Directeur de thèse : Etienne CAVIGNAC