

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉS DE MÉDECINE

ANNÉE 2017

2017 TOU3 1560

THÈSE

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

Présentée et soutenue publiquement

par

Vincent MAROT

le 30 juin 2017

INCORPORATION D'UN GREFFON AUX ISCHIO-JAMBIERS
EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE GREFFE
PRESENTE DANS LES TUNNELS

Directeur de thèse : Dr Etienne CAVAINAC

JURY

Monsieur le Professeur Philippe CHIRON

Président

Monsieur le Professeur Paul BONNEVIALLE

Assesseur

Monsieur le Professeur Franck ACCADBLED

Assesseur

Monsieur le Docteur Etienne CAVAINAC

Assesseur

Madame le Docteur Marie FARUCH-BILFELD

Suppléant

Monsieur le Professeur Joan-Carles MONLLAU

Membre invité



TABLEAU du PERSONNEL HU
des Facultés de Médecine de l'Université Paul Sabatier
au 1^{er} septembre 2016

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel	Professeur Honoraire	M. BAZEX Jacques
Doyen Honoraire	M. LAZORTES Yves	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Doyen Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	Professeur Honoraire	M. BONAFÉ Jean-Louis
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre	Professeur Honoraire	M. VAYSSE Philippe
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE Henri	Professeur Honoraire	M. ESQUERRE J.P.
Professeur Honoraire	M. GEDEON André	Professeur Honoraire	M. GUITARD Jacques
Professeur Honoraire	M. PASQUIE M.	Professeur Honoraire	M. LAZORTES Franck
Professeur Honoraire	M. RIBAUT Louis	Professeur Honoraire	M. ROQUE-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. ARLET Jacques	Professeur Honoraire	M. CERENE Alain
Professeur Honoraire	M. RIBET André	Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard
Professeur Honoraire	M. MONROZIES M.	Professeur Honoraire	M. HOFF Jean
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine	Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.	Professeur Honoraire	M. FAUVEL Jean-Marie
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean	Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean	Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. LACOMME Yves	Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean	Professeur Honoraire	M. BARRET André
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric	Professeur Honoraire	M. ROLLAND
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche	Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe
Professeur Honoraire	M. BERNADET	Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges
Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude	Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel
Professeur Honoraire	M. COMBELLES	Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique
Professeur Honoraire	M. REGIS Henri	Professeur Honoraire	M. DALY-SCHWEITZER Nicolas
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis	Professeur Honoraire	M. RAILHAC
Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel	Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre	Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. BESOMBES Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean
Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel	Professeur Honoraire	M. FORTANIER Gilles
Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel	Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre
Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline	Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles
Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU Guy	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Professeur Honoraire	M. PASCAL J.P.	Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel	Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis	Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle
Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul	Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard
Professeur Honoraire	M. FABIÉ Michel	Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe	Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard
Professeur Honoraire	M. CABARROT Etienne	Professeur Honoraire	M. BRUGAT Roland
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel	Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. ESCAT Jean		
Professeur Honoraire	M. ESCANDE Michel		
Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques		
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard		

Professeurs Émérites

Professeur ALBAREDE Jean-Louis	Professeur CHAMONTIN Bernard
Professeur CONTE Jean	Professeur SALVAYRE Bernard
Professeur MURAT	Professeur MAGNAVAL Jean-François
Professeur MANELFE Claude	Professeur ROQUES-LATRILLE Christian
Professeur LOUVET P.	Professeur MOSCOVICI Jacques
Professeur SARRAMON Jean-Pierre	
Professeur CARATERO Claude	
Professeur GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	
Professeur COSTAGLIOLA Michel	
Professeur ADER Jean-Louis	
Professeur LAZORTES Yves	
Professeur LARENG Louis	
Professeur JOFFRE Francis	
Professeur BONEU Bernard	
Professeur DABERNAT Henri	
Professeur BOCCALON Henri	
Professeur MAZIERES Bernard	
Professeur ARLET-SUAU Elisabeth	
Professeur SIMON Jacques	
Professeur FRAYSSE Bernard	
Professeur ARBUS Louis	

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-PURPAN

37 allées Jules Guesde - 31062 TOULOUSE Cedex

Doyen : D. CARRIE

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1ère classe		P.U. - P.H. 2ème classe	
M. ADOUE Daniel (C.E)	Médecine Interne, Gériatrie	Mme BEYNE-RAUZY Odile	Médecine Interne
M. AMAR Jacques	Thérapeutique	M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie	M. BUREAU Christophe	Hépatogastro-entéro
M. AVET-LOISEAU Hervé	Hématologie, transfusion	M. CALVAS Patrick	Génétique
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie	M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale
M. BLANCHER Antoine	Immunologie (option Biologique)	Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
M. BONNEVILLE Paul	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie.	M. CHAIX Yves	Pédiatrie
M. BOSSAVY Jean-Pierre	Chirurgie Vasculaire	Mme CHARPENTIER Sandrine	Thérapeutique, méd. d'urgence, addict
M. BRASSAT David	Neurologie	M. COGNARD Christophe	Neuroradiologie
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique	M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie	M. FOURNIE Bernard	Rhumatologie
M. CHAP Hugues (C.E)	Biochimie	M. FOURNIÉ Pierre	Ophthalmologie
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie	M. GAME Xavier	Urologie
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie	M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation
M. CLANET Michel (C.E)	Neurologie	M. LAROCHE Michel	Rhumatologie
M. DAHAN Marcel (C.E)	Chirurgie Thoracique et Cardiaque	M. LAUWERS Frédéric	Anatomie
M. DEGUINE Olivier	Oto-rhino-laryngologie	M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie	M. LOPEZ Raphael	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
M. FERRIERES Jean	Epidémiologie, Santé Publique	M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie	M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
Mme LAMANT Laurence	Anatomie Pathologique	M. PARANT Olivier	Gynécologie Obstétrique
M. LANG Thierry (C.E)	Biostatistiques et Informatique Médicale	M. PATHAK Atul	Pharmacologie
M. LANGIN Dominique	Nutrition	M. PAYRASTRE Bernard	Hématologie
M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine Interne	M. PERON Jean-Marie	Hépatogastro-entérologie
M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie	M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. MALVAUD Bernard	Urologie	M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique	Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. MARCHOU Bruno	Maladies Infectieuses	Mme SELVES Janick	Anatomie et cytologie pathologiques
M. MAZIERES Julien	Pneumologie	M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. MOLINIER Laurent	Epidémiologie, Santé Publique		
M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie		
Mme MOYAL Elisabeth	Cancérologie		
Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie		
M. OLIVES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie		
M. OSWALD Eric	Bactériologie-Virologie		
M. PARIENTE Jérémie	Neurologie		
M. PARINAUD Jean	Biol. Du Dévelop. et de la Reprod.		
M. PAUL Carle	Dermatologie		
M. PAYOUX Pierre	Biophysique		
M. PERRET Bertrand (C.E)	Biochimie		
M. RASCOL Olivier	Pharmacologie		
M. RECHER Christian	Hématologie		
M. RISCHMANN Pascal (C.E)	Urologie		
M. RIVIERE Daniel (C.E)	Physiologie		
M. SALES DE GAUZY Jérôme	Chirurgie Infantile		
M. SALLES Jean-Pierre	Pédiatrie		
M. SANS Nicolas	Radiologie		
M. SERRE Guy (C.E)	Biologie Cellulaire		
M. TELMON Norbert	Médecine Légale		
M. VINEL Jean-Pierre (C.E)	Hépatogastro-entérologie		
		P.U. Médecine générale	
		M. OUSTRIC Stéphane	Médecine Générale
		M. MESTHÉ Pierre	Médecine Générale

Professeur Associé de Médecine Générale
POUTRAIN Jean-Christophe

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-RANGUEIL

133, route de Narbonne - 31062 TOULOUSE Cedex

Doyen : E. SERRANO

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1ère classe		P.U. - P.H. 2ème classe	
M. ACAR Philippe	Pédiatrie	M. ACCADBLED Franck	Chirurgie Infantile
M. ALRIC Laurent	Médecine Interne	M. ARBUS Christophe	Psychiatrie
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie	M. BERRY Antoine	Parasitologie
M. ARLET Philippe (C.E)	Médecine Interne	M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie
M. ARNAL Jean-François	Physiologie	M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
M. BOUTAULT Franck (C.E)	Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie	M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie	M. CHAYNES Patrick	Anatomie
Mme BURA-RIVIERE Alessandra	Médecine Vasculaire	M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. BUSCAIL Louis	Hépatogastro-entérologie	M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	Mme DULY-BOUHANICK Béatrice	Thérapeutique
M. CARON Philippe (C.E)	Endocrinologie	M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie	M. GALINIER Philippe	Chirurgie Infantile
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. GARRIDO-STÓWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. COURBON Frédéric	Biophysique	Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique
Mme COURTADE SAIDI Monique	Histologie Embryologie	M. HUYGHE Eric	Urologie
M. DAMBRIN Camille	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire	M. LAFFOSSE Jean-Michel	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
M. DELABESSE Eric	Hématologie	Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie
Mme DELISLE Marie-Bernadette (C.E)	Anatomie Pathologie	M. LEGUEVAQUE Pierre	Chirurgie Générale et Gynécologique
M. DELORD Jean-Pierre	Cancérologie	M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie	M. MAURY Jean-Philippe	Cardiologie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	Mme MAZEREUEW Juliette	Dermatologie
M. GALINIER Michel	Cardiologie	M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. GLOCK Yves (C.E)	Chirurgie Cardio-Vasculaire	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. GOURDY Pierre	Endocrinologie	M. OTAL Philippe	Radiologie
M. GRAND Alain (C.E)	Epidémiologie. Eco. de la Santé et Prévention	M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis	Chirurgie plastique	Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie	M. TACK Ivan	Physiologie
Mme HANAIRE Héleine (C.E)	Endocrinologie	M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
M. KAMAR Nassim	Néphrologie	M. YSEBAERT Loic	Hématologie
M. LARRUE Vincent	Neurologie		
M. LAURENT Guy (C.E)	Hématologie		
M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie		
M. MALECAZE François (C.E)	Ophthalmologie		
M. MARQUE Philippe	Médecine Physique et Réadaptation		
Mme MARTY Nicole	Bactériologie Virologie Hygiène		
M. MASSIP Patrice (C.E)	Maladies Infectieuses		
M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation		
M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile		
M. RITZ Patrick	Nutrition		
M. ROCHE Henri (C.E)	Cancérologie		
M. ROLLAND Yves	Gériatrie		
M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale		
M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie		
M. SAILLER Laurent	Médecine Interne		
M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie		
M. SENARD Jean-Michel	Pharmacologie		
M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie		
M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail		
M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie		
M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive		
Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie		
Mme URO-COSTE Emmanuelle	Anatomie Pathologique		
M. VAYSSIERE Christophe	Gynécologie Obstétrique		
M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie		

Professeur Associé de Médecine Générale
Pr STILLMUNKES André

Professeur Associé en O.R.L.
Pr WOISARD Virginie

M.C.U. - P.H.		M.C.U. - P.H.	
M. APOIL Pol Andre	Immunologie	Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie	Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie
M. BIETH Eric	Génétique	M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie
Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie	Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition	Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie	Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique
M. CAVAINAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie	Mme CAUSSE Elizabeth	Biochimie
Mme CONCINA Dominique	Anesthésie-Réanimation	M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique et des brûlés
M. CONGY Nicolas	Immunologie	M. CHASSAING Nicolas	Génétique
Mme COURBON Christine	Pharmacologie	Mme CLAVE Danielle	Bactériologie Virologie
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie	M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire
Mme de GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie	Mme COLLIN Laetitia	Cytologie
Mme DE MAS Véronique	Hématologie	Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme DELMAS Catherine	Bactériologie Virologie Hygiène	M. CORRE Jill	Hématologie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène	M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie
M. DUPUI Philippe	Physiologie	M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie	M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie	M. DESPAS Fabien	Pharmacologie
M. GANTET Pierre	Biophysique	M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
Mme GENNERO Isabelle	Biochimie	Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail
Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire	Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie
M. HAMDJ Safouane	Biochimie	Mme GALINIER Anne	Nutrition
Mme HITZEL Anne	Biophysique	Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie
M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie	M. GASQ David	Physiologie
Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire	Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale	Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie	Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
M. LAURENT Camille	Anatomie Pathologique	M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
M. LHERMUSIER Thibaut	Cardiologie	Mme INGUENEAU Cécile	Biochimie
Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition	M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. MONTOYA Richard	Physiologie	M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
Mme MOREAU Marion	Physiologie	M. LEPAGE Benoit	Biostatistiques et Informatique médicale
Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire	Mme MAUPAS Françoise	Biochimie
M. PILLARD Fabien	Physiologie	M. MIEUSSET Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie	Mme NASR Nathalie	Neurologie
Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène	Mme PERIQUET Brigitte	Nutrition
Mme SABOURDY Frédéric	Biochimie	Mme PRADDAUDE Françoise	Physiologie
Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie	M. RIMAILHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation	M. RONGIERES Michel	Anatomie - Chirurgie orthopédique
M. SOLER Vincent	Ophtalmologie	Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
M. TAFANI Jean-André	Biophysique	Mme VALLET Marion	Physiologie
M. TREINER Emmanuel	Immunologie	M. VERGEZ François	Hématologie
Mme TREMOLLIERES Florence	Biologie du développement	Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie		
M.C.U. Médecine générale		M.C.U. Médecine générale	
M. BRILLAC Thierry		M. BISMUTH Michel	Médecine Générale
		M. BISMUTH Serge	Médecine Générale
		Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve	Médecine Générale
		Mme ESCOURROU Brigitte	Médecine Générale

Maîtres de Conférences Associés de Médecine Générale

Dr ABITTEBOUL Yves
Dr CHICOULAA Bruno
Dr IRI-DELAHAYE Motoko
Dr FREYENS Anne

Dr BOYER Pierre
Dr ANE Serge
Dr BIREBENT Jordan

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis 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 leurs 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 dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu 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 et méprisé si j'y manque.

A notre Maître et Président du jury,

Monsieur le Professeur Philippe CHIRON

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier en chirurgie orthopédique et traumatologie

Vous nous faites l'honneur de présider ce jury de thèse.

Nous vous remercions pour votre enseignement passionné de l'orthopédie, pour votre patience et votre bienveillance envers vos élèves. Les trois mois passés avec vous en tant qu'interne ont été extrêmement formateurs.

Veillez trouver en ce travail le témoignage de notre admiration et de notre profonde gratitude.

A notre Juge et Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Etienne CAVAINAC

Maître de conférence universitaire

Praticien Hospitalier chirurgie orthopédique et traumatologie

Je te remercie de m'avoir confié ce travail et d'avoir accepté de le diriger.

Merci de m'avoir fait confiance dès le début et de me pousser à donner le meilleur de moi-même. Merci pour ta générosité. Merci pour ton amitié.

Sois assuré de ma profonde reconnaissance et de mon admiration.

A notre maître et Juge,

Monsieur le Professeur Paul BONNEVIALLE

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier en chirurgie orthopédique et traumatologie

Vous nous faites l'honneur de juger ce travail de thèse et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Votre énergie au travail est admirable, votre bonne humeur, inébranlable, votre soutien permanent pour vos internes, incroyable.

Veillez trouver dans cette thèse le témoignage de notre profonde admiration.

A notre maître et Juge,

Monsieur le Professeur Franck ACCADBLE

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier en chirurgie orthopédique et traumatologie

Nous vous remercions d'avoir accepté de juger notre travail.

Merci pour votre accueil, votre sympathie, et vos enseignements. Merci pour tout ce temps consacré à vos internes.

Soyez assuré de notre profond respect et de toute notre reconnaissance.

A notre Juge,

Madame le Docteur Marie FARUCH-BILFELD

Praticien Hospitalier en Radiologie

Nous vous remercions d'accepter de faire partie de ce jury de thèse

Merci pour votre disponibilité et votre gentillesse. Cette thèse n'aurait pas pu être faite sans vous.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mes plus sincères remerciements pour votre contribution.

A notre maître et Juge,

Monsieur le Professeur Joan-Carles MONLLAU

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier en chirurgie orthopédique et traumatologie

Ens fa l'honor de la seva presència en aquest comitè de tesi.

El fet que es desplaci fins aquí mostra la seva implicació per a formar futurs cirugians.

Si us plau, trobi en aquest treball el meu agraïment més profund pel seu esforç i pel meu aprenentatge futur.

A mes proches :

A l'amor de la meva vida, gràcies pels teus sacrificis, pel teu apollo incondicional, per l'amor que em dones cada dia. Gràcies pel regal més maco que m'hagis pogut fer.

A mes parents : vous m'avez donnée la vie mais surtout offert un avenir, merci pour tous vos efforts, vos conseils, votre présence sans faille.

A mes frères : Julien , Mathieu, et Pierre. Mes exemples depuis toujours.

A la famille Josa : ma deuxième famille !

A mes grands-parents : quand-même c'est beau ce que vous avez réussi à faire !

A nuria : merci pour ta perpétuelle bonne humeur. Alors ce cabinet ?

A Ania et Lucas : il a de la chance mon grand frère !

A Simon, Louis, Tiffany, Emilie : merci pour votre soutien pendant ces années de concours à Paris.

A tous mes cousines et cousins, tantes et oncles : quelle belle famille !

Als meus amics d'Andorra :

Mika, Alex, Eric, Roger, Damien, Marc, Juanma, Txetxu : pocs resultats pero molt bons records. Quin equip !

Els d'ordino : Guille; Alex, Sergi, Edgar, Jordi, Albert, Toni, Marc. No sé quin està més sonat.

Lena i Josep : molt agraït pels vostres ànims i consells abans del ECN.

A mes maitres :

A Patrick Josa : merci pour cette aventure incroyable, pour m'avoir montré une autre facette de la médecine

Aux Pr Odent et Pr Biau : pour m'avoir donné goût à la chirurgie

Bruno, Christophe, Jean-Marie, Maxime : pour avoir réussi à me mettre les pieds à l'étrier

M. Tricoire : "la légende de la chirurgie orthopédique"

M. Chaminade : merci pour vos discussions chirurgicales ou sportives

Julien Caillez : le radar

Paul Maisongrosse : que du plaisir, "good !"

Jean-Michel Laffosse : pas possible de paniquer au bloc quand tu es là

Aux chefs, à mes co-internes :

Nicolas : "The president", on fait comme on a dit ?

David : "le numéro 1 à l'hunanimité"

Xavier : beaucoup de qualités mais la plus grande, c'est que tu es lozérien

Jérôme : jamais vu un mec répondre aux mails aussi vite

Jeff : c'était plus marrant quand t'étais là

Amélie : tu écriras en plus gros la prochaine fois s'il-te-plait ?

Marion : Achtungzul !

Trang : tu méritais la médaille d'or

Stéphanie : t'as fait les radios ? Envoie-moi la photo ! T'as pas fait de photo ?

Julie : t'as cassé combien de voitures au final ?

Adrien : quand est-ce que tu comprendras que le ski c'est mieux ?

Gauthier : et ma housse ?

Louis : mon pote roux

Jonathan : dur mais ductile, bon conducteur de la chaleur et de l'électricité

Thomas : tu bronzes à quels moments au fait ?

Greg : "la Rolls"

Vadim : ça te chatouille pas de nous envoyer tes radios de Paris ?

Tristan : Matti-Russe et salsa

Kepa : mais t'es pas grec en fait ?

Manon : tu peux lâcher tes bisounours et revenir aux staffs du jeudi stp ?

Marine : Martine Arbouchacha

Florence : jamais vue de mauvaise humeur

Charlotte : la chirurgien du 9-3, enfin.... d'Angers

Mahdi : Siapaslà pendant longtemps quand-même

Julien : Toulemonde mais gentil comme personne

Pierre : t'as combien de points SIGAPS ?

Fanny : incroyable ce grand écart !

Karine : t'as prévu de revenir de La Réunion ?

Arthur : heureusement que tu n'es pas resté en psy

Marie : passion clou gamma

Rémi : le tombeur

Enrique : Grande

Mathieu : t'as un accent savoyard des fois non ?

Isabelle : il est où Bachir ?

Marine Brunet : j'ai toujours pas compris cette histoire d'ADC. Merci pour ton aide et ta gentillesse lozérienne !

Aux infirmier(e)s et manipulateurs de bloc, de consultation et de service.

A Pol

TABLES DES MATIERES

1. RESUME	p. 18
2. INTRODUCTION	p. 20
3. MATERIELS ET METHODES	p. 22
3.1. Patients	p. 22
3.2. Intervention chirurgicale	p. 26
3.3. Critères de jugement	p. 29
3.3.1. <u>Critère d'évaluation principal : SNQ</u>	p. 29
3.3.2. <u>Elargissement du tunnel tibial</u>	p. 31
3.3.3. <u>Cicatrisation du greffon</u>	p. 33
3.3.4. <u>Maturité du greffon</u>	p. 34
3.3.5. <u>Stabilité du genou</u>	p. 36
3.3.5.1. <i>Test de Lachman</i>	p. 36
3.3.5.2. <i>Pivot rotatoire</i>	p. 37
3.3.5.3. <i>Laximétrie mesurée par TELOS</i>	p. 37
3.3.6. <u>Scores fonctionnels</u>	p. 39
3.3.7. <u>Enquête de satisfaction</u>	p. 40
3.4. Analyses statistiques	p. 40
4. RESULTATS	p. 42
4.1. SNQ	p. 42
4.2. Critères de jugement secondaires	p. 42
4.2.1. <u>Elargissement du tunnel tibial</u>	p. 42
4.2.2. <u>Cicatrisation du greffon</u>	p. 42
4.2.3. <u>Maturité du greffon</u>	p. 43
4.2.4. <u>Stabilité du genou</u>	p. 44
4.2.5. <u>Scores fonctionnels</u>	p. 45
4.2.6. <u>Enquête de satisfaction</u>	p. 45
4.3. Reproductibilité inter-observateur	p. 45
5. DISCUSSION	p. 46
6. CONCLUSION	p. 51
7. REFERENCES	p. 52
8. ANNEXES	p. 61
8.1. Annexe 1 : article soumis à AJSM	p. 61
8.2. Annexe 2 : Corrections AJSM	p. 89
8.3. Annexe 3 : fiche de recueil informations patients	p. 94

1. RESUME

Introduction : La reconstruction du LCA à l'aide du semi-tendineux seul, replié en 4 brins (DT4) est une évolution de la technique classique utilisant les 2 ischio jambiers (DIDT). Il n'a jamais été publié de comparaison de ces deux techniques concernant l'incorporation osseuse de la greffe. DT4 étant plus courte, il y a moins de matériel dans le tunnel osseux.

L'objectif principal de cette étude est de comparer l'incorporation du greffon dans le tunnel osseux tibial, à 1 an d'une ligamentoplastie par DIDT et DT4, sur des images IRM.

Matériel et Méthodes : 62 patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA ont été inclus prospectivement (31 DT4 et 31 DIDT). La même technique chirurgicale, les mêmes moyens de fixation et le même protocole de rééducation post-opératoire étaient utilisés dans les deux groupes. Seule la longueur de greffe présente dans les tunnels était différente (DT4 est plus courte). L'intégration et la ligamentisation ont été évaluées par mesure IRM à un an de recul. Les paramètres suivants étaient analysés. : signal-to-noise quotient (SNQ), élargissement du tunnel tibial, intensité du signal sur l'interface greffon-os échelle de Howell (mesurant le signal de la greffe). Nous avons déterminé le nombre de sujets nécessaires pour démontrer qu'à un an de recul, la différence entre la valeur de SNQ dans les deux techniques n'excédait pas une déviation standard. Avec un risque α alpha de 2,5 % et un risque β Beta de 10%, nous devions inclure 31 patients dans chaque groupe. Les analyses comparatives ont été réalisées à l'aide de tests t de Student.

Résultats : les valeurs moyenne du SNQ étaient de 5.2 ± 4.5 pour le groupe DIDT et 5.9 ± 3.7 pour le groupe DT4 ($p > 0.05$). L'élargissement moyen du tunnel tibial était de $93.7\% \pm 51.7$ pour le groupe DIDT contre $80.0\% \pm 42.9$ pour le groupe DT4 ($p = 0.2605$). Il n'y avait

pas de différence en fonction de l'intensité du signal sur l'interface greffon-os entre les 2 groupes ($p= 0.7502$) ni en ce qui concerne l'échelle de Howell ($p=0.4544$).

Conclusion : A un an de recul, l'intégration et la ligamentisation évaluées par IRM n'étaient pas différentes dans les deux groupes étudiés DIDT et DT4. Nous mettons donc en évidence que la longueur de greffe n'influe pas l'intégration dans le tunnel.

2. INTRODUCTION

Les tendons ischio-jambiers sont les greffes les plus utilisées pour la reconstruction du ligament croisé antérieur (LCA).⁴³ Il est classiquement réalisé une greffe en utilisant le semi-tendineux (DT) et le gracilis. Il a été proposé de n'utiliser que le DT (plié en 4) ce qui permet d'obtenir un greffon de plus gros diamètre⁴⁷, de plus grande résistance biomécanique⁶, de préserver un tendon (gracile) et potentiellement d'améliorer le résultat fonctionnel selon les dires des promoteurs de cette technique^{19 50 3 28}. Plusieurs dénominations ont été données aux techniques utilisant le DT replié en 4 : short Graft¹², all-inside³¹. Nous avons choisi de nommer ce type de greffe DT4 dans le reste de l'exposé. Le DT4 est une greffe plus courte que celle du DIDT, elle est sujet de critiques, suggérant que celle-ci serait trop courte pour s'intégrer et cicatriser au sein des tunnels tibial et fémoral dans lesquels le greffon est fixé.⁴⁷ Des études cadavériques histologiques sur animaux montrent que la longueur minimale du greffon dans les tunnels osseux doit être de 5 millimètres car l'attache du greffon ne se fait que sur la zone la plus proche de la surface articulaire, grâce à un type spécifique de fibres de collagène : les fibres de Sharpey^{32 10}. Pour Yamazaki et al., le fait de placer une longue portion de greffon dans le tunnel tibial n'apporte aucune amélioration sur l'ancrage de ce dernier, ce phénomène n'ayant lieu que dans la zone proche de l'articulation.⁵⁵ De même Zantop et al. ont montré, sur une étude animale, que seulement 15 mm de tissu étaient nécessaires dans les tunnels pour permettre une incorporation correcte.⁵⁷ Mais ces études ont été effectuées « in vitro », nos connaissances ne sont donc pas basées sur des données « in vivo ».

L'IRM permet d'évaluer l'incorporation et la cicatrisation des greffons au sein des tunnels osseux à l'aide de coupe et d'outils de mesure particuliers.^{18 23}

Il existe plusieurs comparaisons de résultats cliniques et de laximétries résiduelles entre les techniques utilisant DIDT et les techniques n'utilisant que DT^{3 5 28 19 24 46 37 1 3 5 24 28 46 56 50}. A

notre connaissance, il n'existe pas d'analyse comparative de l'incorporation entre ces deux types de greffe.

Notre hypothèse est que la greffe type DT4 peut s'intégrer et se ligamentiser aussi bien qu'une greffe classique utilisant le DT et le gracilis dans les tunnels osseux. L'objectif principal de cette étude est de comparer l'incorporation du greffon dans les tunnels osseux tibial à 1 an d'une ligamentoplastie par DDT et DT4, sur des images IRM. Les objectifs secondaires sont de comparer ces deux techniques à travers la laxité antérieure, les scores fonctionnels, les résultats cliniques et la satisfaction des patients.

3. MATERIELS ET METHODES

Il s'agit d'une étude observationnelle, prospective, monocentrique, de non infériorité, évaluée en aveugle, menée selon les recommandations de Piaggio et al.³⁹ sur les études de non infériorité, effectuée avec l'accord du comité d'éthique de notre centre. DIDT étant ici la technique de référence et DT4 la « nouvelle » technique à évaluer.

3.1. Patients

169 patients ont bénéficié d'une ligamentoplastie du LCA entre janvier 2015 et novembre 2015.

Les critères d'inclusion étaient :

- 1) sexe masculin²⁹,
- 2) cartilages de croissance fusionnés et âge inférieur à 50 ans au moment de la chirurgie,
- 3) symptômes, examen clinique et IRM montrant une rupture du LCA,
- 4) genou controlatéral sain,
- 5) pas de lésion précédente sur le genou à réparer,
- 6) pas de symptômes fémoro-patellaires,
- 7) pas de maladie systémique,
- 8) suivi à 1 an accepté.

Les critères d'exclusion étaient :

- en phase pré-opératoire :
 - 1) lésion du ligament croisé postérieur, ligament collatéral latéral ou du ligament collatéral médial du genou,

- 2) lésions cartilagineuses ou atteinte arthrosique.
- Au moment de l'analyse des résultats :
 - 3) malposition des tunnels osseux (pour Ayala-Mejias et al. ⁴, un tunnel tibial trop vertical entraîne une ballonisation plus importante). L'évaluation du placement était faite sur IRM sur la séquence 3D DP TSE selon les critères suivants :⁵²
 - sur des coupes sagittales, position du tunnel tibial en arrière par rapport à la ligne de Blumensaat (définie par la tangente à la corticale du fond de l'échancrure inter-condylienne), genou en extension.
 - Pour le tunnel fémoral :
 - sur des coupes sagittales, position à l'intersection entre la ligne de Blumensaat et la corticale postérieure fémorale,
 - sur des coupes frontales, position à la ligne de 11h et 1h pour les genoux droits et gauches respectivement.

82 patients ne correspondaient pas aux critères d'inclusion. 11 femmes opérées n'ont pas été incluses (5 DIDT et 6 DT4). 68 patients sur les 76 restants ont accepté le suivi à un an. 3 patients ont dû être exclus en raison d'un re-rupture du LCA (2 DIDT et 1 DT4). 3 patients ont été exclus en raison d'une malposition d'un tunnel (2 DIDT et 1 DT4).

62 patients ont été inclus : 31 DIDT et 31 DT4.

Les 2 groupes étaient comparables pour l'ensemble des critères définis dans le tableau 1, sauf pour l'âge, et le diamètre des greffes. La comparaison du critère de jugement principal (SNQ) entre les groupes a donc été ajustée sur ces variables.

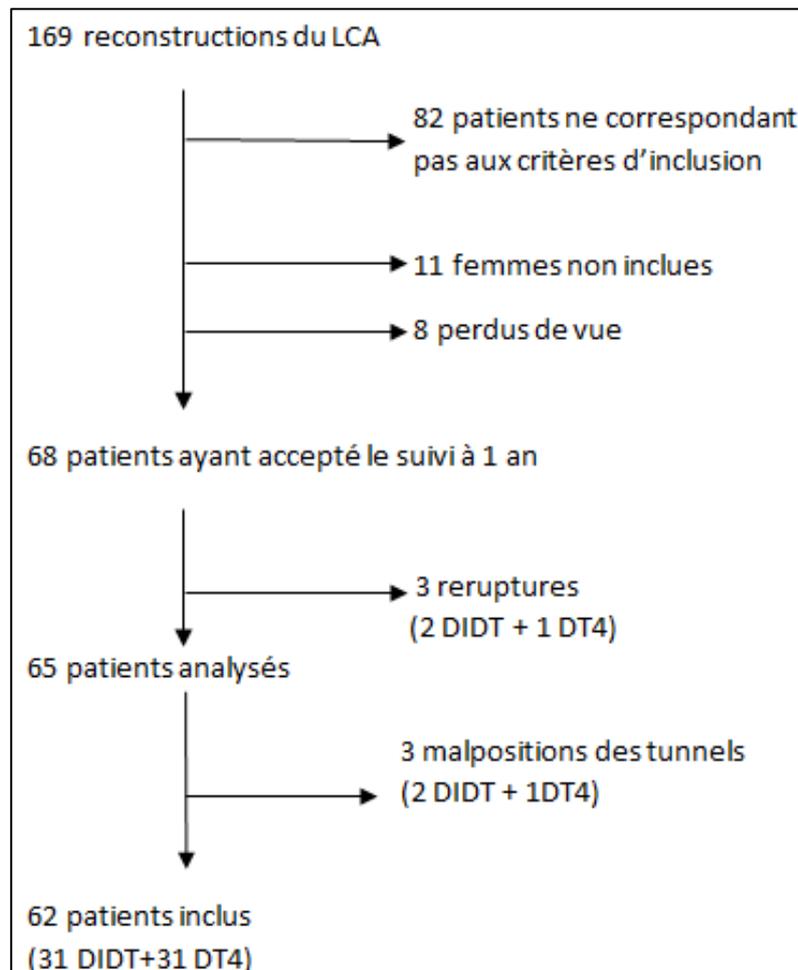


Figure 1 : Flow-chart

Type de greffe	DIDT (n=31)	DT4 (n=31)	p
Moyenne d'âge (ans)	28.4+/-7.9	33.1+/-8.3	.0280
Moyenne de BMI (kg/m ²)	23.6+/-2.7	24.4+/-3.4	.4304
Temps moyen lésion-chirurgie (jours)	111.7+/-78.3	150.1+/-240.8	.9047
Tegner pré-opératoire	6.9 +/-2.0	6.9+/-2.0	.9496
Temps chirurgie IRM (jours)	393.8+/-59.0	404+/-60.7	.5065
Lésion méniscale	9	14	.1886
Diamètre des greffes	8.45+/-0.5	8.9 +/-0.9	.0270

Tableau 1 : Comparaison démographique pour chaque groupe : moyenne et déviation standard

Comparaison via le test T de Student

3.2. Intervention chirurgicale

Les patients ont bénéficié d'une reconstruction du LCA en utilisant la technique du DIDT ou DT4, en fonction des habitudes du chirurgien. Dans leur pratique courante, 2 chirurgiens utilisaient toujours la technique du DIDT et un troisième utilisait celle du DT4. Il s'agit là du seul facteur pris en compte lors de la sélection d'un type de greffon.

Le type d'anesthésie était déterminé selon la préférence du patient. Le patient était placé sur table opératoire genou à 90° de flexion. Un garrot était utilisé chez tous les patients et gonflé à 250 mmHg. Une détersion à la bétadine était faite puis le genou était recouvert par un champage stérile.

Pour le prélèvement des greffons, une incision verticale était faite sur la face antéromédiale de la tubérosité tibiale en regard de la patte d'oie. Les tendons étaient prélevés à l'aide d'un stripper Zimmer Biomet®. Les deux tendons semi-tendineux et gracile étaient prélevés dans le groupe DIDT tandis que seul le semi-tendineux était prélevé dans le groupe DT4. Dans le groupe DIDT, les tendons étaient alors pliés pour former un greffon 4 brins en utilisant un endo-bouton pour préparer le greffon (Toogle lock ziploop, Zimmer-Biomet ®) ; les bords libres étaient sécurisés grâce à des points au vicryl 2. Dans le groupe DT4, le semi-tendineux était plié en 4 en utilisant le même endobouton et les bords libres étaient sécurisés grâce à des points au FIBERWIRE ® (Arthrex, X°X) (*figure 2 a et b*).

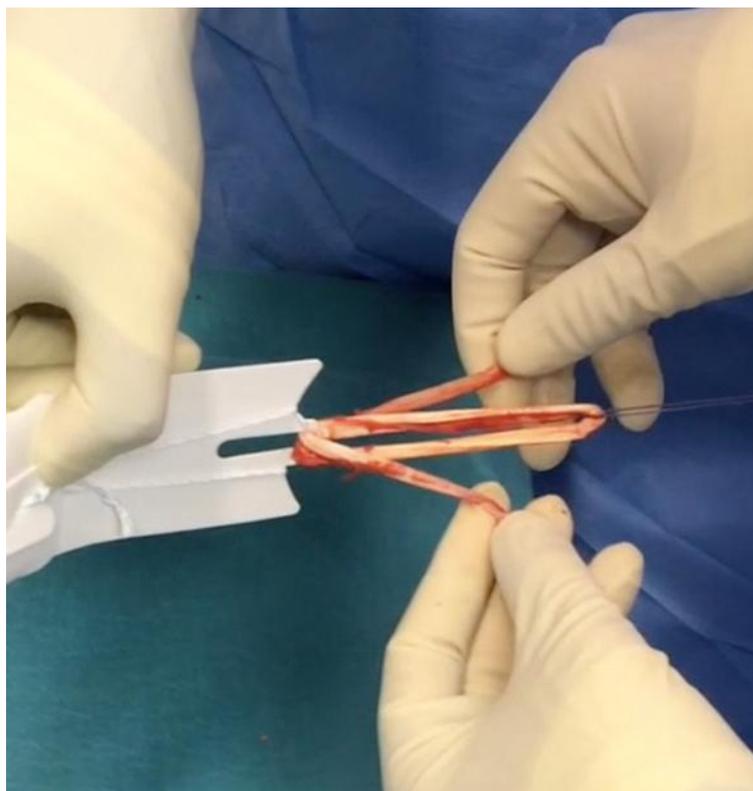
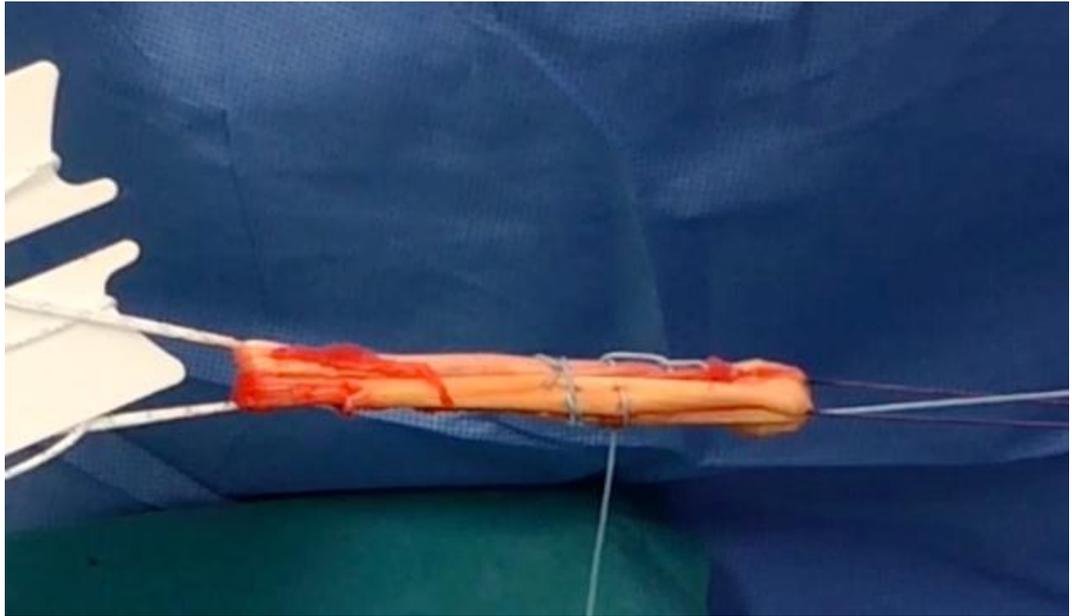


Figure 2 a et b greffe type DT4

La technique chirurgicale intra-articulaire était identique : le tunnel fémoral était foré par la méthode de « dedans en dehors » au plus proche de l'empreinte antéromédiale et à travers la voie d'abord antéro-médiale. Il était foré avec un alésoir canulé de 4,5 mm pour permettre le passage du dispositif cortical. Ensuite, un alésoir canulé était utilisé pour créer un tunnel borgne. La longueur du tunnel était de 30 mm dans le groupe DIDT et de 10 mm dans le groupe DT4 (*Figure 3*). Le tunnel tibial était créé avec un ancillaire tibial fixé à 55° et ensuite foré avec un alésoir canulé. Dans les deux groupes les viseurs fémoraux et tibiaux utilisés étaient les mêmes.

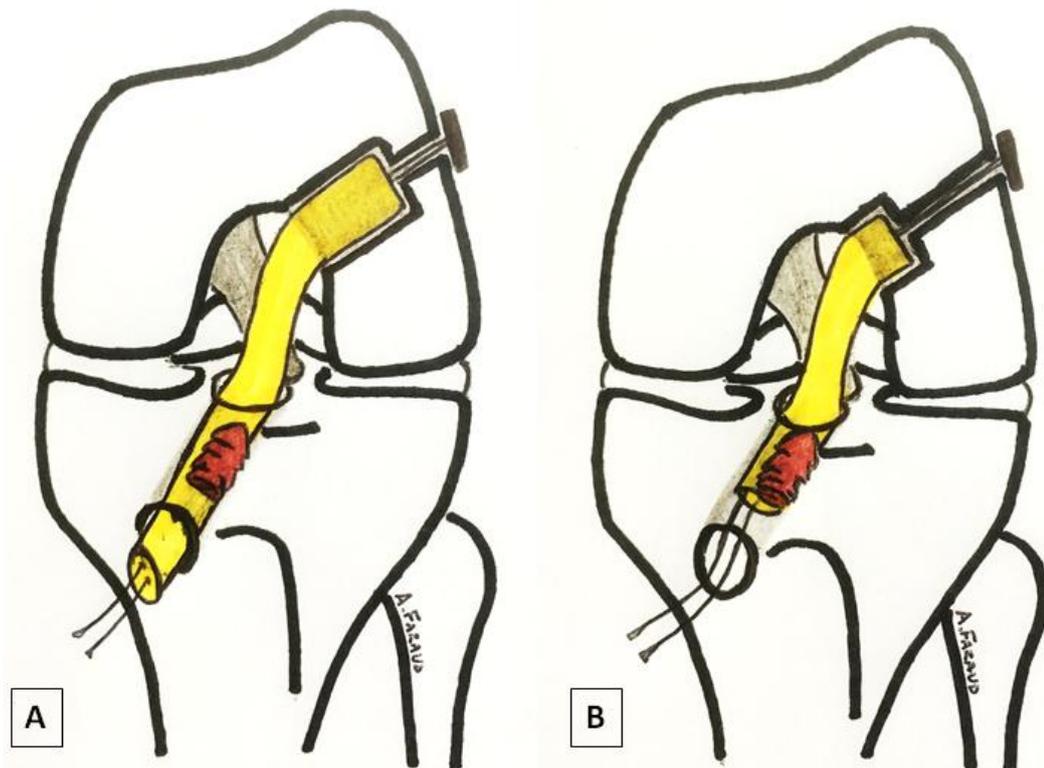


Figure 3 : tunnels des 2 types de greffes : DIDT (A), DT4 (B)

Dans les deux méthodes, le greffon était ensuite passé à travers le tunnel tibial, à travers l'articulation puis dans le tunnel fémoral. La partie fémorale du greffon était d'abord fixée à l'aide d'un endobouton (Toggle lock ziplop, Zimmer-Biomet ®). Après mise en

tension du greffon à plusieurs reprises, la partie tibiale du greffon était fixée à l'aide d'une vis d'interférence (LACTOSORB®, Zimmer-Biomet, XX). Cette vis est composée à 82% d'acide lactique (PLLA) et 18% d'acide glycolique (PGA). La taille de la vis choisie était égale au diamètre de la greffe ainsi que du tunnel réalisé. Par exemple, pour une greffe de 8 mm, un tunnel de 8mm de diamètre était réalisé et une vis de 8 mm de diamètre était utilisée.

Tous les patients ont bénéficié du même protocole de rééducation post-opératoire. Un appui complet sur le membre inférieur opéré était autorisé immédiatement après la chirurgie.

En résumé, les patients venaient du même bassin de population, étaient opérés par des chirurgiens venant de la même école avec le même matériel et selon la même technique. Les moyens de fixation ainsi que le protocole de rééducation étaient identiques dans les deux groupes. Seul le type de greffe était différent entre les deux groupes. Dans le groupe DT4 le tunnel au fémur était plus court et la longueur de greffe dans le tunnel fémoral et tibial était plus courte que dans le groupe DIDT.

3.3. Critères de jugement

Plusieurs mesures IRM ont été validées pour apprécier la ligamentisation d'une greffe :

- 1) SNQ : signal/noise quotient ^{23 53 20 36}
- 2) élargissement du tunnel fémoral ^{18 22 25}
- 3) cicatrisation du greffon (intensité du signal sur l'interface greffon-os) ¹⁸
- 4) maturité du greffon (contenu du greffon en eau selon l'échelle de Howell) ²³

L'IRM du genou était réalisée après une heure de repos avec une antenne en réseauphasé volumique 15 canaux dédiée sur une IRM 3T (Magnetom Skyra, Siemens Medical Solutions,

Erlangen, Allemagne). Les séquences suivantes ont été utilisées : séquence 3D DP TSE et séquence sagittale DP- FS.

3.3.1. Critère d'évaluation principal : SNQ

Le SNQ (signal/noise quotient) de chaque greffon a été calculé selon la formule :

$$\text{SNQ} = \frac{\text{signal du greffon} - \text{signal du LCP}}{\text{signal de fond}}$$

Nous avons utilisé le protocole suivant : sur des images obliques sagittales FS-PD (Fat Saturated- Proton Density), l'intensité du signal (SI) a été mesurée en utilisant des cercles de 0.05 cm^2 des régions d'intérêt (ROI). Le signal du greffon a été mesuré dans sa portion intra-articulaire sur 3 sites : supérieur, moyen, inférieur. Le signal de fond a été mesuré 2 cm en avant du tendon patellaire (*figure 4*). Celui-ci évalue la résistance mécanique de la greffe. ^{53 23}

20 36

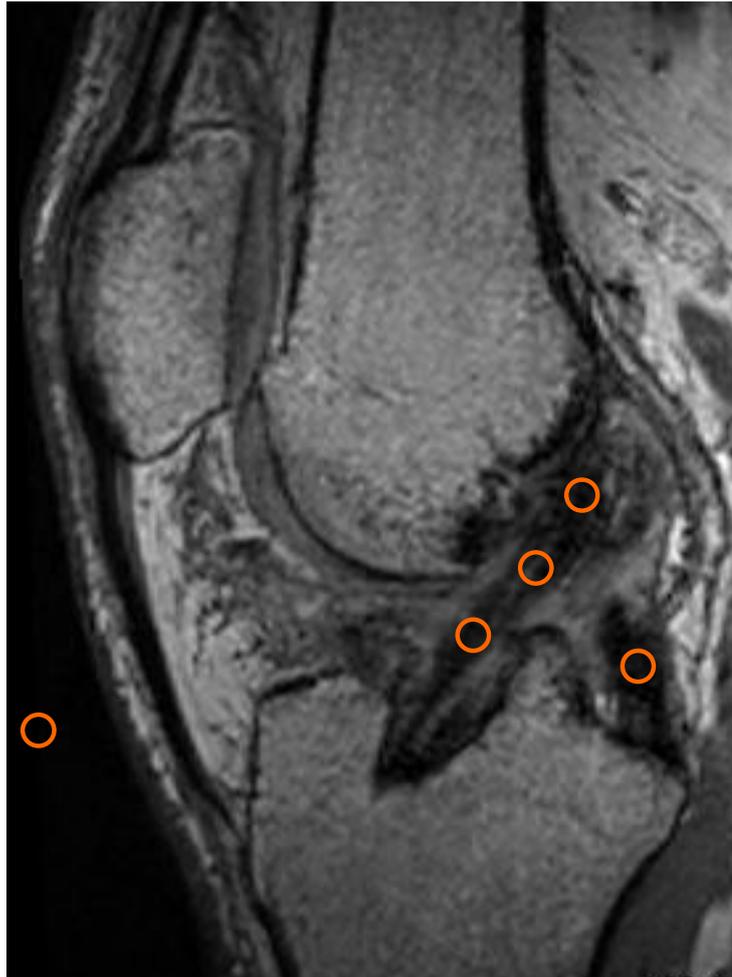


Figure 4 : Placement des ROI pour le calcul du SNQ (ROI de 0,05 cm²).

3 ROI sont placés sur la plastie (supérieur, moyen, inférieur), un ROI sur le LCP et un ROI dans le vide 2cm en avant du tendon patellaire.

3.3.2. Elargissement du tunnel tibial

Pour l'élargissement du tunnel tibial, nous avons mesuré l'aire moyenne à l'entrée de chaque tunnel tibial sur des images IRM obliques perpendiculaires à la section du tunnel. La surface en cm² du tunnel osseux tibial, à sa partie supérieure, était mesurée grâce au logiciel de post-traitement Terarecon® (Terarecon Intuition, Foster City, Californie) à partir de la séquence 3D DP TSE (Figure 5). Une reconstruction dans les 3 plans de l'espace permettait de se

positionner dans un axe perpendiculaire à l'axe de la plastie. L'élargissement était calculé selon la formule suivante (CSA= Crosssectional area) :

$$\text{Augmentation CSA (\%)} = \frac{\text{CSA mesurée} - \text{CSA forée}}{\text{CSA forée}} \times 100$$

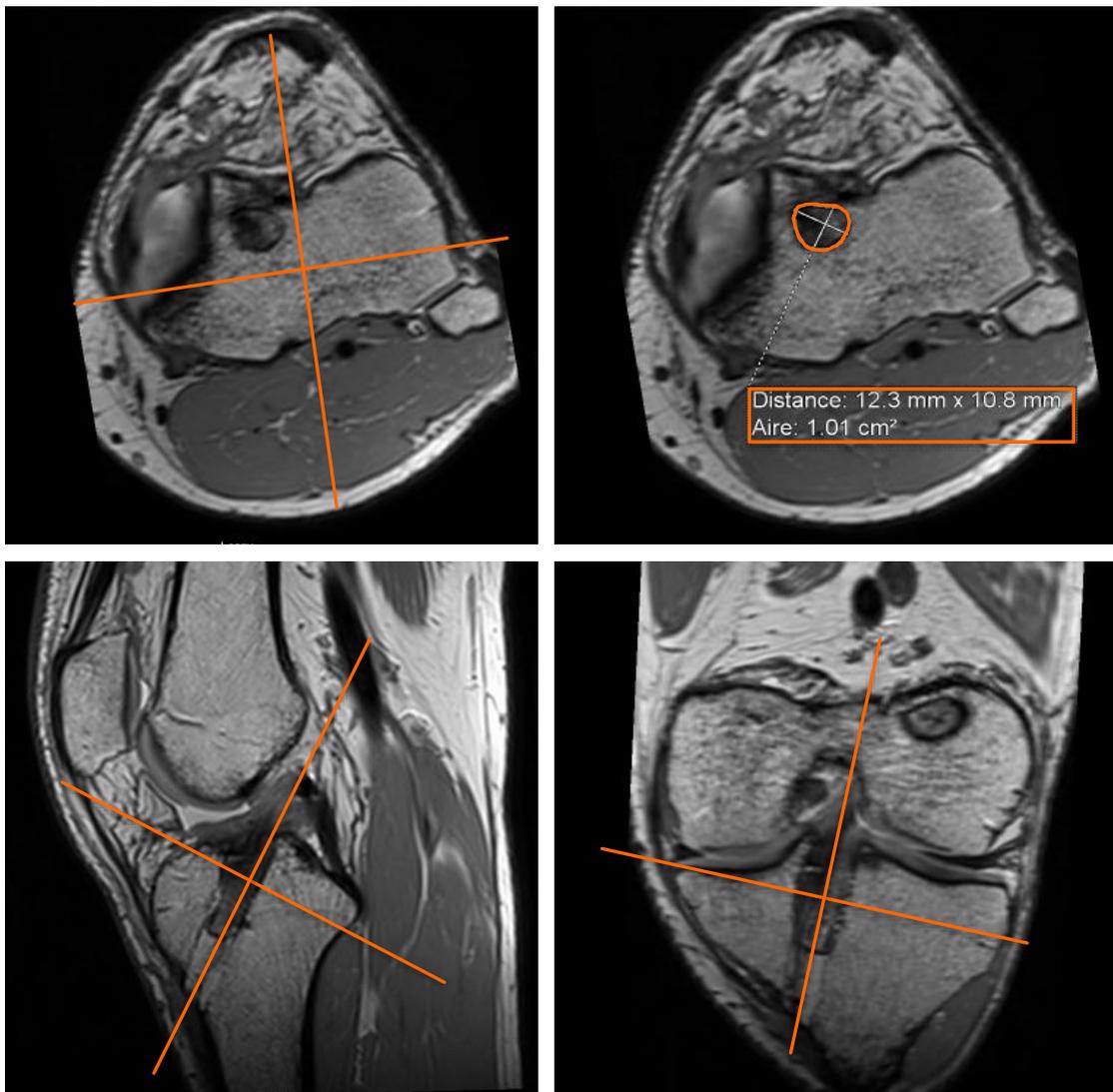


Figure 5 : Technique de mesure de la surface du tunnel osseux tibial sur le logiciel Terarecon®, grâce à des reconstructions dans les 3 plans de l'espace.

3.3.3. Cicatrisation du greffon

Pour mesurer la cicatrisation du greffon (intensité du signal sur l'interface greffon-os), nous avons utilisé le protocole de Yunshen Ge et al.¹⁸ La cicatrisation était évaluée sur des coupes obliques sagittales en séquence FS-PD (Fat Saturated- Proton Density). Nous avons classé les

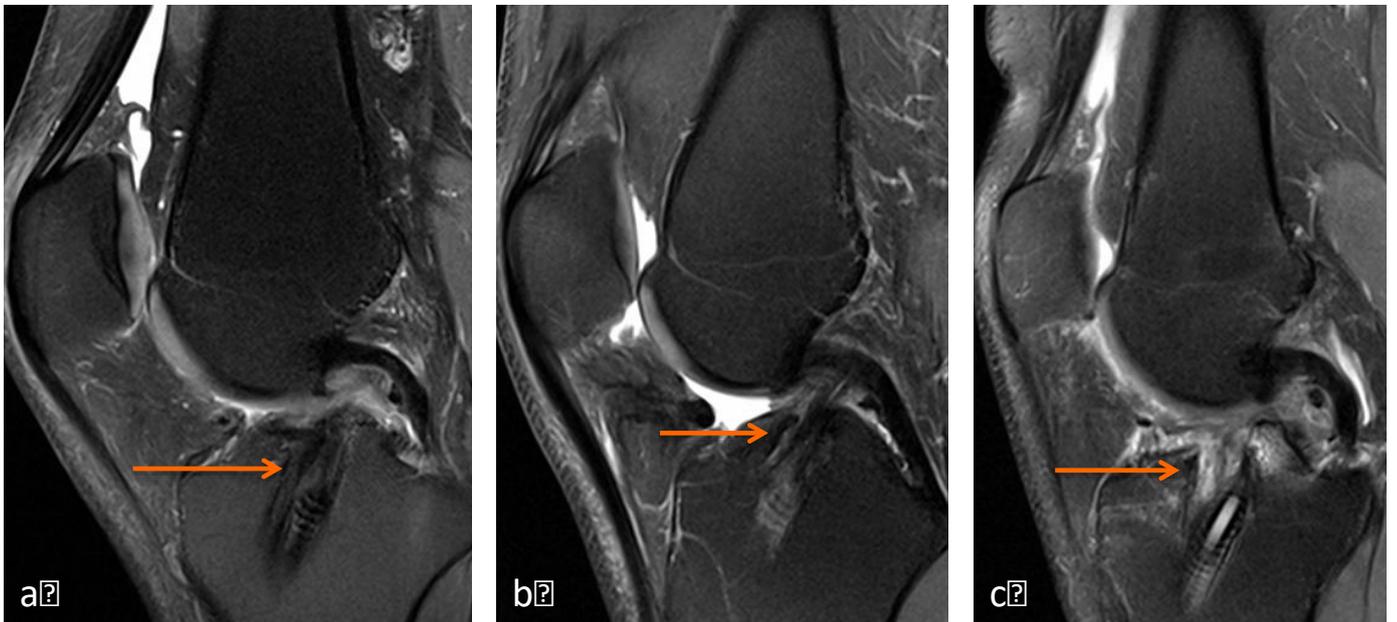


Figure 1 (a) Figure 1 (b) Figure 1 (c)

3.3.4. Maturité du greffon

Pour mesurer la maturité du greffon, nous avons utilisé un système de classement à quatre grades basé sur le signal IRM de la greffe au niveau du tunnel tibial selon Howell et al ²³

(Figure 7) :

- grade I) signal homogène, de faible intensité indiscernable de celui du LCP ou du ligament patellaire,
- grade II) signal de ligament normal sur au moins 50% de son volume, entremêlé avec des portions ayant acquis une intensité de signal accrue,
- grade III) intensité de signal accrue sur au moins 50% de son volume, entremêlé avec des portions ayant un signal de ligament normal,
- grade IV) augmentation diffuse de l'intensité du signal sans brins d'apparence normale du ligament.

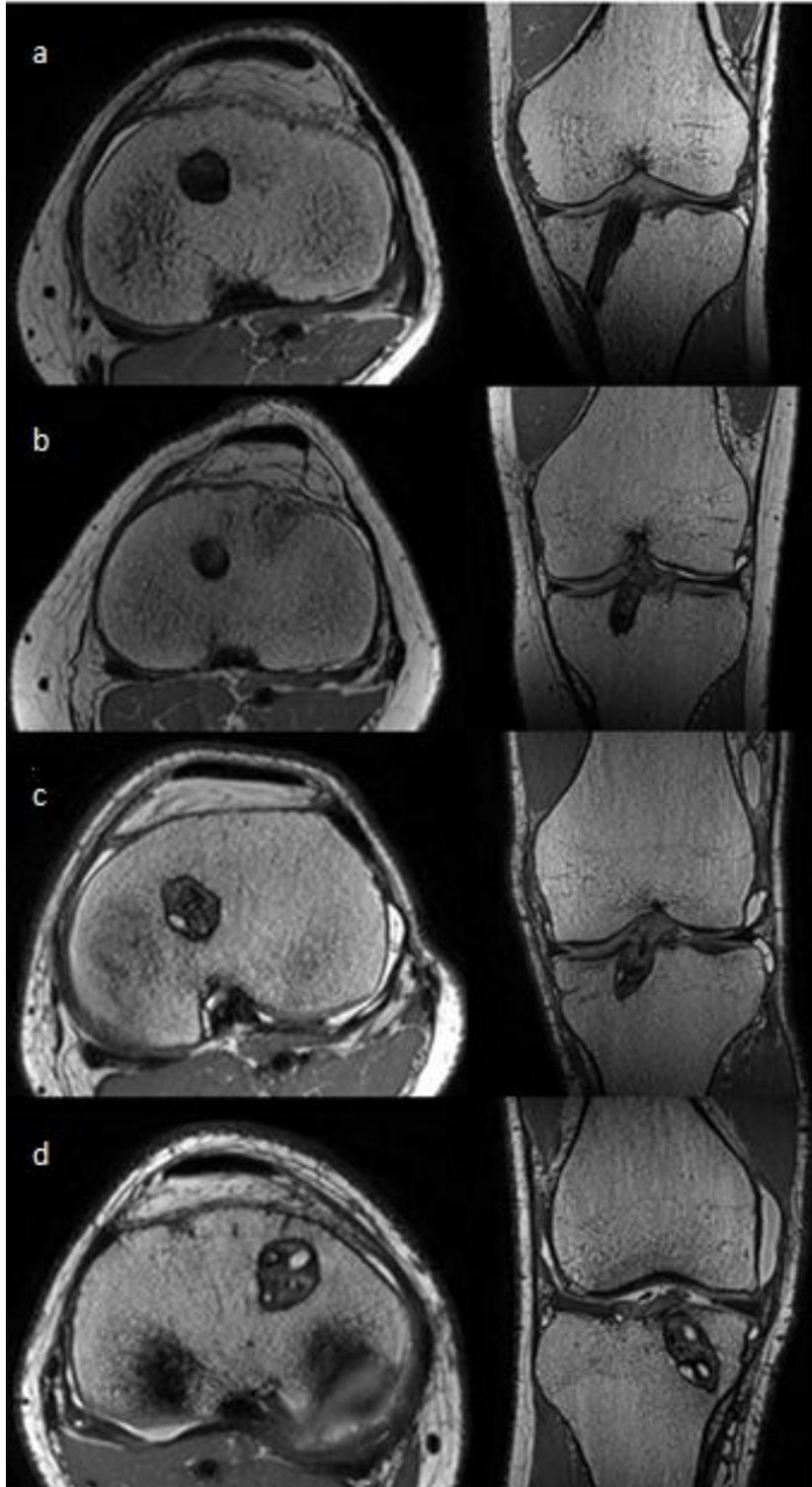


Figure 7 : Représentation des quatre grades du contenu du greffon en eau selon l'échelle de Howell: grade I (a), grade II (b), grade III (c) et grade IV (d)

3.3.5. Stabilité du genou

La stabilité du genou était mesurée à l'aide du test de Lachman, du test du pivot rotatoire et du TELOS²⁷ à 150 Newton.

3.3.5.1. *Test de Lachman :*

Les résultats du test de Lachman (*Figure 8*) étaient classés en 4 grades :²¹

- 0 (< 3 mm),
- I (3–6 mm),
- II (6–10 mm)
- III (> 10 mm).



Figure 8 Test de Lachman

3.3.5.2. *Pivot rotatoire*

Les résultats du test du pivot rotatoire étaient classés selon 4 grades : ²¹

- 0 (absent),
- I (subluxation),
- II (ressaut)
- III (ressaut explosif).

3.3.5.3. *Laximétrie mesurée par TELOS* 27

Le système Télós® (Télós GmbH Laubscher, Holstein, Suisse) est un appareil permettant d'effectuer une contrainte en tiroir antérieur sur le genou afin de mesurer de façon objective la laxité antérieure. Il est constitué d'un bâti central métallique posé sur une table de radiographie avec scopie et possède deux points d'appui fixes pour positionner le membre inférieur sous contrôle scopique. La technique du TELOS est décrite par Pugh et al.⁴⁰. Le patient est placé en décubitus latéral, sur le côté à étudier. Le genou est fléchi à environ 20° avec la cuisse bloquée à sa face antérieure. Une poussée est exercée à la partie proximale de la face postérieure de la jambe : le poussoir doit apparaître à hauteur du rebord tibial postérieur sous contrôle scopique. La force appliquée est indiquée sur l'écran du dynamomètre : dans notre étude nous avons appliqué une force de 15 dNewtons.

Une radiographie de profil est alors réalisée en position de contrainte. Les mêmes mesures sont réalisées également sur le genou controlatéral supposé sain, afin d'obtenir une valeur différentielle et de s'affranchir de la laxité physiologique du patient.

Il existe des critères de positionnement précis à respecter pour pouvoir obtenir des clichés exploitables : le genou doit rester faiblement fléchi et la poussée ne doit pas accentuer sa flexion, le blocage antérieur de la cuisse doit se faire au bord supérieur de la rotule et la

poussée sur la jambe doit se faire à hauteur de l'épiphyse tibiale proximale. Sur le plan radiographique, les condyles doivent être superposés en arrière ainsi que les plateaux tibiaux et le squelette jambier doit être en rotation neutre c'est à dire que l'on doit éviter les positions extrêmes que sont la rotation externe du squelette jambier (avec une fibula exagérément dégagée du tibia) ou la rotation interne du squelette jambier (avec une fibula masquée par le tibia). (*Figure 9 a et b*)

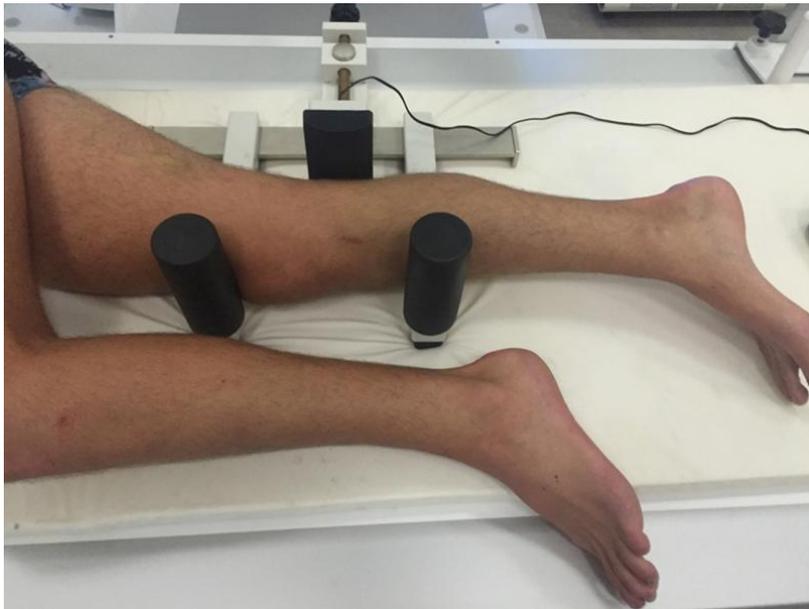


Figure 9 a Telos

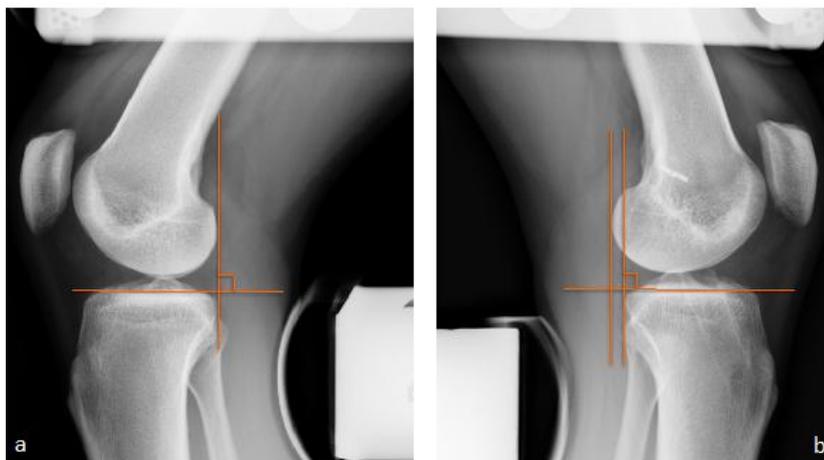


Figure 9 b Telos

Le tiroir antérieur était mesuré en traçant une ligne parallèle à la surface des plateaux tibiaux puis deux lignes perpendiculaires à celle-ci : une passant par la partie la plus postérieure des plateaux tibiaux et une par la partie la plus postérieure des condyles fémoraux. La distance entre ces deux lignes était mesurée du côté opéré et du côté contro-latéral supposé sain et une différentielle était calculée. (*Figure 8*)

Il n'existe pas à notre connaissance dans la littérature de valeur seuil à partir de laquelle un genou opéré d'une ligamentoplastie serait instable. Une étude publiée par Rijke et al.⁴¹ montre qu'une translation antérieure différentielle inférieure à 5 mm est normale tandis qu'une translation supérieure à 7 mm témoigne d'une fonction anormale du LCA. Pour Defranco et al.¹⁴ une translation antérieure différentielle de 3 mm serait la valeur seuil de rupture complète du LCA.

Pour James et al.²⁶, le TELOS a une sensibilité de 81 à 88% et une spécificité de 82 à 100% dans le diagnostic des ruptures du LCA. Selon la même équipe, il n'y aurait pas de supériorité d'un arthomètre par rapport à un autre.

L'examen Clinique était effectué par un interne en chirurgie orthopédique entraîné.

3.3.6. Scores fonctionnels

Les scores fonctionnels suivants ont été mesurés à un an post-opératoire :

- Lysholm⁸
- Tegner⁵¹
- IKDC subjectif²¹

3.3.7. Satisfaction

Le degré de satisfaction des patients était évalué par un simple questionnaire en trois stades: très satisfait, satisfait, non satisfait.

Les images IRM et TELOS étaient analysées par deux observateurs en double aveugle: un radiologue et un chirurgien orthopédiste. Ni l'un ni l'autre ne connaissaient les résultats trouvés par l'autre observateur sur le même examen ni le résultat de l'autre examen, de même les observateurs ne savaient pas à quel groupe appartenait le patient dont ils analysaient les images. Les analyses étaient effectuées sur une station de travail PACS (McKesson horizon rad station, McKesson radiology, San Francisco, Californie).

3.4. **Analyses statistiques**

En supposant³³ que les patients du groupe «DIDT» ont un SNQ moyen à 1 an de 2,4 avec un écart type de 0,6 et que les patients du groupe «DT4» ont un SNQ moyen à 1 an de 2,5, nous aimerions montrer qu'au pire, la différence standardisée moyenne de SNQ entre les groupes «DT4» et «DIDT» est inférieure à 1 déviation standard. Avec un risque α unilatéral de 2,5% (c'est-à-dire un intervalle de confiance unilatéral de 97,5%) et un risque β unilatéral de 10%, nous avons dû inclure 31 patients dans chaque groupe.³⁴

Avant les analyses, la vérification des données manquantes, aberrantes ou incohérentes a été effectuée. Après les corrections, la base de données a été verrouillée. Les analyses ont été effectuées sur cette base de données verrouillée. Nous avons d'abord décrit les caractéristiques de base des patients de chaque groupe en utilisant les statistiques descriptives appropriées en fonction du type de variables. Les statistiques descriptives comprenaient le nombre

d'observations non manquantes, la moyenne avec écart-type (SD) ou la médiane avec intervalle interquartile (IQR), selon le cas, pour les variables continues et le nombre d'observations non manquantes avec fréquence (%) pour les variables catégorielles. Les coefficients de corrélation intraclasse (ICC) avec des intervalles de confiance à 95% ont été calculés afin d'évaluer la reproductibilité inter-observateurs pour les valeurs de SNQ et pour d'autres paramètres d'IRM. Le critère d'évaluation primaire a été analysé en comparant, dans chaque groupe, un intervalle de confiance de 97,5% du SNQ moyen à un an à la limite de non-infériorité. Afin de prendre en compte les caractéristiques de base différentes entre les groupes, le SNQ moyen ajusté (avec un intervalle de confiance de 97,5%) a été évalué dans chaque groupe en utilisant un modèle de régression linéaire. Les critères d'évaluation secondaires catégoriels ont été comparés entre les groupes en utilisant le test χ^2 (ou le test exact de Fisher si nécessaire). Le test t de Student a été utilisé pour comparer la distribution des résultats secondaires continus (ou le test de Mann-Whitney, lorsque la distribution s'écartait de la normalité ou lorsque l'homoscédasticité a été rejetée). Toutes les valeurs p indiquées étaient bilatérales et le seuil de signification était $<0,05$. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATA 14.1 (STATA Corp., College Station, TX, USA).

4. RESULTATS

4.1. SNQ :

Après ajustement sur l'âge et le diamètre du greffon, les valeurs moyennes du SNQ étaient de 5.2 ± 4.5 pour le DIDT et 5.9 ± 3.7 pour le DT4 ($p > 0.05$). L'intervalle de confiance unilatéral à 97.5% de la moyenne du SNQ était égal à: 5.2 [- ; 6.9] pour le groupe DIDT, et 5.9 [- ; 7.3] < 9.7 (< à la borne de non-infériorité) pour le groupe DT4. Après ajustement sur l'âge, et l'aire du tunnel, l'intervalle de confiance unilatéral à 97.5% de la moyenne du SNQ était égal à: 5.2 [- ; 6.5] pour le groupe DIDT, et 5.9 [- ; 7.1] < 9.7 (inférieur à la borne de non-infériorité) pour le groupe DT4.

Ainsi la procédure DT4 est non-inférieure à la procédure DIDT en termes de SNQ.

4.2. Critères de jugement secondaires

4.2.1. Elargissement du tunnel tibial

L'élargissement moyen du tunnel tibial était de 93.7% +/- 51.7 pour le DIDT contre 80.0 % +/- 42.9 pour le DT4. Il n'y avait pas de différence significative entre les 2 groupes ($p=0.2605$).

4.2.2. Cicatrisation du greffon

Pour la cicatrisation du greffon (intensité du signal sur l'interface greffon-os) : il y avait 10 patients classés dans le grade I, 15 dans le grade II et 6 dans le grade III, dans le groupe DIDT, contre 5 patients classées dans le grade I, 16 dans le grade II et 10 dans le grade III, dans le groupe DT4 pour le 1^{er} observateur. Il y avait 9 patients classés dans le grade I, 15

dans le grade II et 7 dans le grade III, dans le groupe DIDT, contre 14 patients classés dans le grade I, 11 dans le grade II et 6 dans le grade III, dans le groupe DT4 pour le 1^{er} observateur.

Il n'y avait pas de différence significative de la distribution de la population en fonction de l'intensité du signal entre les 2 groupes ($p= 0.7502$).

4.2.3. Maturité du greffon

Pour la maturité du greffon (Echelle de Howel), il y avait 6 patients classés dans le grade I, 12 dans le grade II, 9 dans le grade III et 4 dans le grade IV, dans le groupe DIDT, contre 4 patients classés dans le grade I, 14 dans le grade II, 12 dans le grade III et 1 dans le grade IV dans le groupe DT4.

Il n'existait pas de différence significative entre les 2 groupes ($p=0.4544$). (Figure 10)

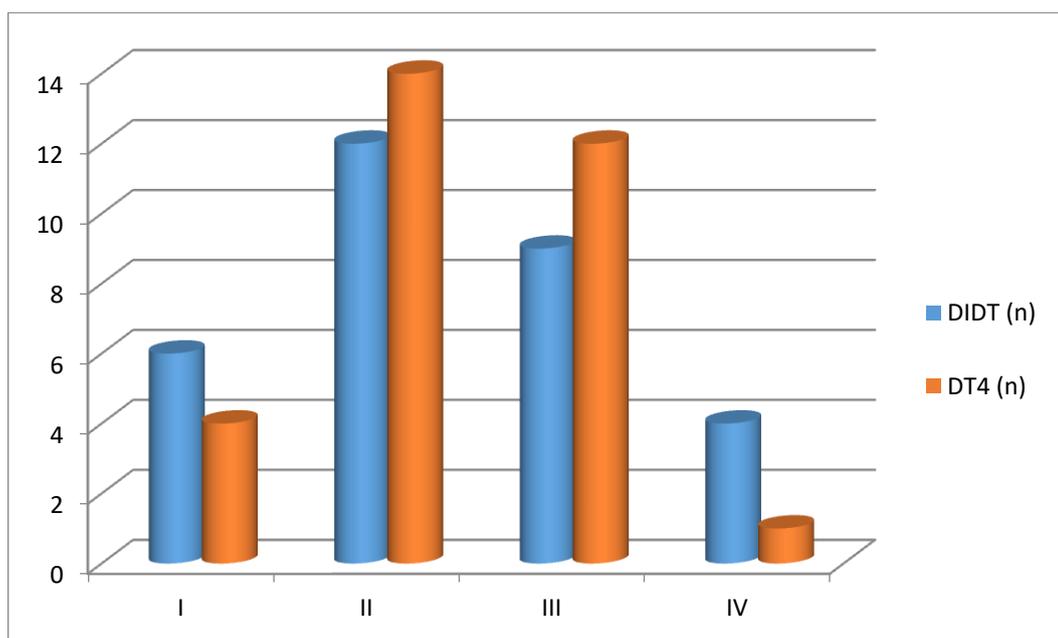


Figure 10 : échelle de Howel - Répartition des patients selon le grade. $p=0.4544$

4.2.4. Stabilité du genou

Au niveau de l'examen clinique, il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes pour chacun des tests de l'examen clinique : Signe de Lachman ($p = .6123$), tiroir antérieur ($p = 1$), et pivot shift test ($p = 0.6123$).

La translation antérieure différentielle moyenne mesurée par TELOS était de 0.8 ± 4.1 pour le DIDT et de 1.2 ± 2 pour le DT4 ($p = 0.7353$).

4.2.5. Scores fonctionnels

Le DT4 était non inférieur au DIDT pour l'ensemble des scores fonctionnels suivants : Lysholm ($p = .0189$), Tegner ($p = .8936$) et IKDC subjectif ($p = .0235$). (*Tableau 2*)

Type de greffe	DIDT (S.D)	DT4 (S.D)	<i>p</i>
Lysholm	89+/-17.7	92.0+/-5.6	.0189
Tegner	5.8 +/-1.8	5.7+/-2.0	.8936
IKDC subjectif	79.6+/-14.4	89.1+/-9.7	.0235

Tableau 2 : résultats des scores fonctionnels

2.2.6 Enquête de satisfaction

En ce qui concerne la satisfaction, 16 patients étaient très satisfaits, 13 satisfaits et 2 non satisfaits dans le groupe DIDT ; Dans le groupe DT4, 22 patients étaient très satisfaits, 9 satisfaits et 0 non satisfaits ($p=0.1703$). (Figure 11)

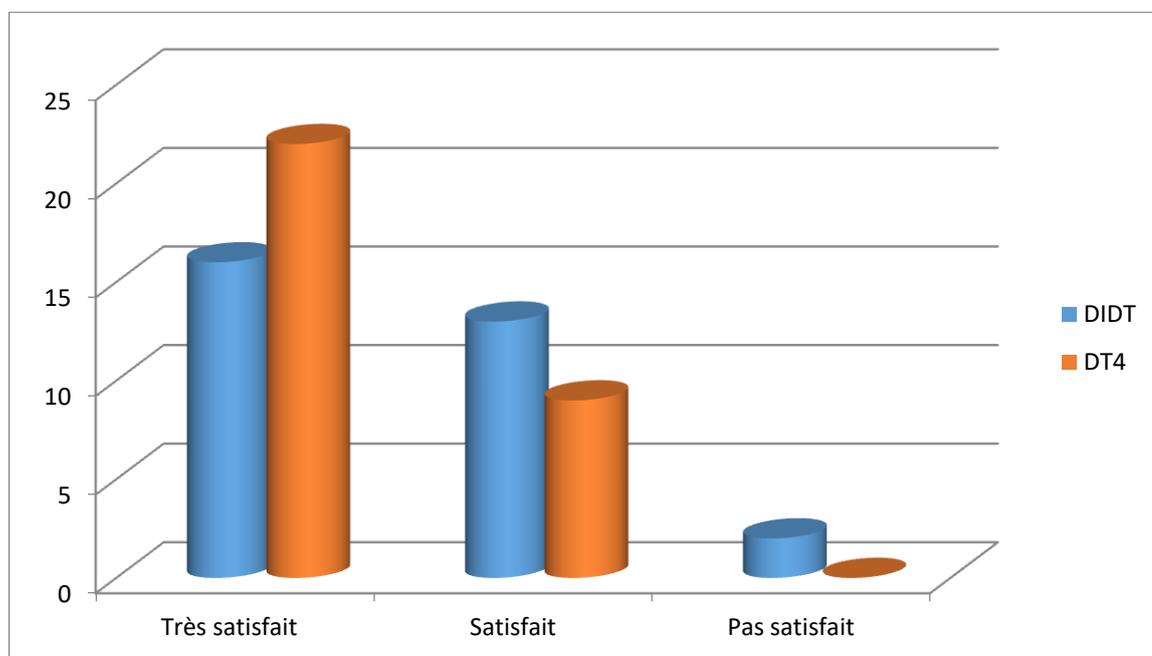


Figure 11: Satisfaction. $p=0.1703$

4.3. Reproductibilité inter-observateur

Pour la mesure du SNQ, la reproductibilité inter-observateur par rapport à la valeur moyenne est égale à 72% (Intervalle de confiance à 95% = 54% - 83%). Les critères de jugement IRM sont la moyenne des deux lecteurs. L'ICC correspondant à la « Reliability of the mean ». Il y avait une bonne reproductibilité inter-observateur pour ce qui concerne l'évaluation de l'intensité du signal à l'interface greffon-os (Reliability of the mean: $ICC[3,2] = 0.739$, (95% CI: 0.567, 0.843)), l'ouverture du tunnel tibial (Reliability of the mean: $ICC[3,2] = 0.820$, (95% CI: 0.702, 0.892)), et la laximétrie (Reliability of the mean: $ICC[3,2] = 0.893$, (95% CI: 0.822, 0.935))

5. DISCUSSION

Notre hypothèse est confirmée puisque nous avons observé une absence d'infériorité de la technique du DT4 par rapport à celle du DIDT en ce qui concerne l'incorporation de la greffe. D'autre part, nous n'avons pas non plus observé d'infériorité en termes de cicatrisation, maturité du greffon et d'élargissement du tunnel tibial. Il n'y a donc pas de différence d'incorporation en fonction de la longueur de greffe présente dans les tunnels. Il s'agit là de la première étude comparant l'incorporation des greffes du DIDT et du DT4.

D'après les hypothèses faites pour le calcul de la taille d'étude, la borne de non-infériorité était égale à 1 SD (groupe DIDT) soit 4.5. Ainsi pour démontrer la non-infériorité du DT4 comparativement au DIDT, la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral à 97.5% de la moyenne du SNQ du groupe DT4 devait être inférieure à 9.7 (i.e. $5.2 + 4.5 = 9.7$). L'intervalle de confiance unilatéral à 97.5% de la moyenne du SNQ était égal à: 5.2 [- ; 6.9] pour le groupe DIDT, et $5.9 [- ; 7.3] < 9.7$ (< à la borne de non-infériorité) pour le groupe DT4. Après ajustement sur l'âge, et l'aire du tunnel, l'intervalle de confiance unilatéral à 97.5% de la moyenne du SNQ était égal à: 5.2 [- ; 6.5] pour le groupe DIDT, et $5.9 [- ; 7.1] < 9.7$ (inférieur à la borne de non-infériorité) pour le groupe DT4. Ainsi la procédure DT4 est non-inférieure à la procédure DIDT en termes de SNQ.

Les fibres de Sharpey assurant l'accroche du greffon à l'os se développent sur les 5 millimètres les plus proches de la surface articulaire^{32 10}. Le greffon du DT4 présente la même évolution que celui du DIDT en ce qui concerne son incorporation dans les tunnels osseux. La conservation du gracile permet alors d'envisager d'utiliser ce tendon pour une ténodèse latérale⁵⁴. Le gracile représente une alternative intéressant pour réaliser un renfort

antéro latérale⁵⁴. Sonnery-Cottet et al., ont montré que DIDT pouvait être utilisé à la fois pour réaliser un geste de reconstruction intra-articulaire du LCA et un geste de ténodèse externe avec de bons résultats cliniques⁴⁸.

Pailhé et al.³⁸ ont montré que le DT4 a une résistance à la traction supérieure à celle de DIDT. Dans cette étude cadavérique, les tests étaient réalisés sur des tissus préparés comme des greffons. Cavaignac et al.⁹ ont montré que le diamètre des greffes DT4 est plus important que celui de DIDT en moyenne de 20% chez un même sujet. Le diamètre moyen des greffes était de 8,45 +/- 0.51 mm pour le DIDT et de 8,9 +/- 0.94 mm pour le DT4.

Weiler et al.⁵³ ont constaté qu'une intensité de signal élevée sur IRM avec injection de gadolinium reflète une diminution de la résistance mécanique du greffon pendant le remodelage précoce. Le SNQ est donc inversement proportionnel à la résistance du greffon à la traction. Plusieurs variantes du SNQ ont depuis été proposées, notamment sans injection de gadolinium pour la plupart^{23 20 36}. D'autres équipes comparent le signal du greffon à celui du tendon quadricipital^{2 36 18}, au lieu de celui du ligament croisé postérieur comme Weiler et al.^{53 33 13}. Nous avons décidé d'utiliser la même méthodologie que Weiler et al, qui ont développé le SNQ mesuré sur des IRM en le comparant à des analyses histologiques. Ils ont aussi montré que l'injection de gadolinium n'apportait pas de changement de signal du greffon à 1 an, raison pour laquelle nous ne l'avons pas fait. Les valeurs de SNQ retrouvées dans la littérature vont de 0.078 ± 0.62 pour un DT4 à 6 mois chez Colombet et al.¹³ à 5.49 ± 3.71 pour une allogreffe à 2 ans chez Ge et al.¹⁸. Or nous retrouvons des valeurs moyennes de 5.2 ± 4.5 (DIDT) et 5.9 ± 3.7 (DT4) à 1 an.

L'élargissement du tunnel tibial se développe pendant les premiers mois après l'opération. Fules et al.¹⁷ ont démontré que l'IRM était un bon examen pour évaluer l'élargissement tibial sur des coupes transversales. Les valeurs d'élargissement du tunnel tibial retrouvées dans la littérature vont de 33% pour un DIDT à 6.5 mois chez Fules et al.¹⁷ à 80% pour un DT4 à 10 ans chez Streich et al.⁴⁹. Or nous retrouvons des valeurs moyennes de 93.7% (DIDT) et 80% (DT4) à 1 an. Nous pensons que ces valeurs importantes sont liées au fait que nous utilisons une vis du même diamètre que la greffe ce qui élargit d'avantage le tunnel.

Le processus de ligamentisation est composé de 4 phases^{45 42} :

- Phase 1) de colonisation cellulaire (2 premiers mois) : une néo-membrane synoviale entourant la greffe est visible dès la troisième semaine post-opératoire, apportant une néovascularisation, et les fibroblastes situées d'abord en périphérie du greffon migrent dans les zones les plus lâches de la matrice où elles prolifèrent et finalement repeuplent les zones libres de la matrice.
- Phase 2) de remodelage collagénique (2 mois à 1 an) : augmentation du nombre de fibroblastes, de même que la néo-vascularisation.
- Phase 3) de maturation (1 à 3 ans) : diminution des cellules et de la vascularisation, maturation des fibres collagéniques.
- Phase 4) de quiescence (au-delà de 3 ans) : les autogreffes présentent une véritable structure ligamentaire, comparable au ligament croisé normal. . On ne trouve plus de vascularisation et le nombre des fibroblastes est très faible.

Les femmes ont été exclues en raison des différents taux d'hormones pouvant influencer la ligamentisation du greffon^{15 7} au cours du cycle menstruel. En effet, Kiapour et al.²⁹ ont

montré sur des études animales que les sujets de sexe féminin ont de moins bons résultats que les sujets de sexe masculin au niveau des propriétés structurelles des greffons et de la laxité du genou.

Nous avons vérifié la plausibilité de nos résultats en comparant les valeurs retrouvées dans notre étude avec celles de la littérature.

Les valeurs de translation antérieure différentielle retrouvées dans la littérature vont de 0.62 +/- 2.13 pour un DT4 à 6 mois chez Colombet et al.¹³ à 2.7 mm (-4.5-9.5) pour un DT4 à 7 ans chez Ejerhed et al.¹⁶. Or nous retrouvons des valeurs moyennes de 0.8 (DIDT) et 1.2 (DT4) à 1 an sur un laximètre de type TELOS.

Le nombre de re-ruptures est cohérent avec les résultats dans la littérature (plus de 3% de re-ruptures à 2 ans d'une ligamentoplastie au DIDT selon la méta-analyse de Mohtadi et al.³⁵).

Sur le plan des scores cliniques, nous n'avons pas retrouvé d'étude montrant une différence significative entre les deux techniques. Que ce soit pour l'IKDC ou le score de Lysholm, toutes les études montrent une équivalence entre le DIDT et le DT4.^{3 5 19 24 28 46 30}.

Au niveau des bilans isocinétiques, Gobbi et al.¹⁹ montrent que la technique du DIDT entraîne un déficit de rotation interne du genou supérieur à celui du DT4. Pour Tashiro et al.⁵⁰ et Ardern et al.³, la perte de flexion active et la perte de force en flexion serait moins importante dans la technique du DT4 par rapport à celle du DIDT. Karimi-Mobarakeh et al.²⁸ rapportent le même constat quant à la perte de force en flexion du genou.

Quant aux données de stabilité, aucune étude ne montre de différence significative entre les 2 techniques. Ceci est confirmé par une méta-analyse effectuée par Sharma et al.⁴⁷ et portant sur 8 études.

Nous pouvons cependant décrire plusieurs limites à notre étude.

En effet, le SNQ est une donnée variable qui est maximale à 6 mois et diminue jusqu'à 60 mois post-opératoires selon Muramatsu et al.³⁶. Nous pouvons donc penser que nous avons choisi un temps de recul trop court pour l'évaluation des patients. Cela est en accord avec les études de Sanchez et al.⁴⁴ et Rougraff et al.⁴² pour qui le remodelage persiste jusqu'à 24-36 mois, où le greffon devient quiescent. Cependant une méta-analyse développée par Claes et al.¹¹ montre l'absence de consensus sur la durée des différents stades de ligamentisation.

D'autre part, nos 2 groupes ne sont pas comparables au niveau de l'âge, et du diamètre de la greffe, mais nous avons ajusté nos variables sur ces critères.

Enfin, les patients des 2 groupes n'ont pas été opérés par les mêmes chirurgiens, mais ceux-ci, formés à la même école, utilisaient la même technique chirurgicale en dehors du choix du greffon.

6. CONCLUSION

A un an de recul, l'incorporation et la ligamentisation évaluées par IRM n'étaient pas différentes dans les deux groupes étudiés DIDT et DT4. Les résultats fonctionnels et la mesure de laxité résiduelle étaient équivalents dans les deux groupes. Par ailleurs, malgré ce qui a été avancé auparavant, nous mettons en évidence que 10 mm de greffe dans le tunnel osseux du fémur sont équivalents à 30 mm pour l'incorporation d'une greffe de LCA au ischiojambiers.

Vu permis d'imprimer
Le Doyen de la Faculté
De Médecine Rangueil

E. SERRANO

15/06/2017

Professeur Philippe CHIRON
RPPS 10003856098
Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Hôpital Pierre-Paul Riquet
Place du Docteur Baylac - TSA 40031
31059 TOULOUSE Cedex 9

7. REFERENCES

1. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Sakai Y, Kuriwaka M, Fujihara A. Harvesting hamstring tendons for ACL reconstruction influences postoperative hamstring muscle performance. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2003;123(9):460-465. doi:10.1007/s00402-003-0572-2.
2. Ahn JH, Lee SH, Choi SH, Lim TK. Magnetic resonance imaging evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled hamstring tendon autografts: comparison of remnant bundle preservation and standard technique. *Am J Sports Med.* 2010;38(9):1768-1777. doi:10.1177/0363546510368132.
3. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Hamstring strength recovery after hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between graft types. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2010;26(4):462-469. doi:10.1016/j.arthro.2009.08.018.
4. Ayala-Mejias JD, Garcia-Gonzalez B, Alcocer-Perez-España L, Villafañe JH, Berjano P. Relationship between Widening and Position of the Tunnels and Clinical Results of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction to Knee Osteoarthritis: 30 Patients at a Minimum Follow-Up of 10 Years. *J Knee Surg.* September 2016. doi:10.1055/s-0036-1593367.
5. Barenius B, Webster WK, McClelland J, Feller J. Hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: does gracilis tendon harvest matter? *Int Orthop.* 2013;37(2):207-212. doi:10.1007/s00264-012-1672-9.
6. 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.* 2015;46 Suppl 6:S14-17. doi:10.1016/j.injury.2015.10.040.

7. Blecher AM, Richmond JC. Transient laxity of an anterior cruciate ligament-reconstructed knee related to pregnancy. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 1998;14(1):77-79.
8. 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*. 2009;37(5):890-897. doi:10.1177/0363546508330143.
9. 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*. 2014;21(6):1014-1017. doi:10.1016/j.knee.2014.07.010.
10. Chen C-H. Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol SMARTT*. 2009;1(1):21. doi:10.1186/1758-2555-1-21.
11. 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*. 2011;39(11):2476-2483. doi:10.1177/0363546511402662.
12. Collette M, Cassard X. The Tape Locking Screw technique (TLS): A new ACL reconstruction method using a short hamstring graft. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR*. 2011;97(5):555-559. doi:10.1016/j.otsr.2011.03.016.
13. 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*. 2016;44(11):2838-2845. doi:10.1177/0363546516656181.

14. DeFranco MJ, Bach BR. A comprehensive review of partial anterior cruciate ligament tears. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(1):198-208. doi:10.2106/JBJS.H.00819.
15. Dragoo JL, Lee RS, Benhaim P, Finerman GAM, Hame SL. Relaxin receptors in the human female anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*. 2003;31(4):577-584.
16. Ejerhed L, Kartus J, Sernert N, Köhler K, Karlsson J. Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction? A prospective randomized study with a two-year follow-up. *Am J Sports Med*. 2003;31(1):19-25.
17. 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*. 2003;10(1):87-91.
18. 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 Off J ESSKA*. 2015;23(4):954-960. doi:10.1007/s00167-013-2755-x.
19. Gobbi A, Domzalski M, Pascual J, Zanazzo M. Hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: is it necessary to sacrifice the gracilis? *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2005;21(3):275-280. doi:10.1016/j.arthro.2004.10.016.
20. 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*. 2007;89(9):1165-1171. doi:10.1302/0301-620X.89B9.19339.

21. Hefti F, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 1993;1(3-4):226-234.
22. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 1998;6(4):231-240. doi:10.1007/s001670050105.
23. 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*. 1991;19(1):42-47.
24. Inagaki Y, Kondo E, Kitamura N, et al. Prospective clinical comparisons of semitendinosus versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc*. 2013;18(5):754-761. doi:10.1007/s00776-013-0427-9.
25. Iorio R, Vadalà A, Argento G, Di Sanzo V, Ferretti A. Bone tunnel enlargement after ACL reconstruction using autologous hamstring tendons: a CT study. *Int Orthop*. 2007;31(1):49-55. doi:10.1007/s00264-006-0118-7.
26. James EW, Williams BT, LaPrade RF. Stress radiography for the diagnosis of knee ligament injuries: a systematic review. *Clin Orthop*. 2014;472(9):2644-2657. doi:10.1007/s11999-014-3470-8.
27. Jardin C, Chantelot C, Migaud H, Gougeon F, Debroucker MJ, Duquennoy A. [Reliability of the KT-1000 arthrometer in measuring anterior laxity of the knee: comparative analysis with Telos of 48 reconstructions of the anterior cruciate ligament and intra- and interobserver reproducibility]. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot*. 1999;85(7):698-707.

28. Karimi-Mobarakeh M, Mardani-Kivi M, Mortazavi A, Saheb-Ekhtiari K, Hashemi-Motlagh K. Role of gracilis harvesting in four-strand hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: a double-blinded prospective randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2015;23(4):1086-1091. doi:10.1007/s00167-014-2890-z.
29. 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*. 2015;43(7):1623-1631. doi:10.1177/0363546515582024.
30. Kyung H-S, Lee H-J, Oh C-W, Hong H-P. Comparison of results after anterior cruciate ligament reconstruction using a four-strand single semitendinosus or a semitendinosus and gracilis tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2015;23(11):3238-3243. doi:10.1007/s00167-014-3076-4.
31. Lubowitz JH. All-inside anterior cruciate ligament graft link: graft preparation technique. *Arthrosc Tech*. 2012;1(2):e165-168. doi:10.1016/j.eats.2012.06.002.
32. Lui P, Zhang P, Chan K, Qin L. Biology and augmentation of tendon-bone insertion repair. *J Orthop Surg*. 2010;5:59. doi:10.1186/1749-799X-5-59.
33. Ma Y, Murawski CD, Rahnemai-Azar AA, Maldjian C, Lynch AD, Fu FH. Graft maturity of the reconstructed anterior cruciate ligament 6 months postoperatively: a magnetic resonance imaging evaluation of quadriceps tendon with bone block and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2015;23(3):661-668. doi:10.1007/s00167-014-3302-0.
34. Machin D, ed. *Sample Size Tables for Clinical Studies*. 3rd ed. Chichester, West Sussex, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2008.

35. Mohtadi NG, Chan DS, Dainty KN, Whelan DB. Patellar tendon versus hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011;(9):CD005960. doi:10.1002/14651858.CD005960.pub2.
36. 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*. 2008;24(9):1038-1044. doi:10.1016/j.arthro.2008.05.014.
37. Nakamura R, Horii E, Watanabe K, Nakao E, Kato H, Tsunoda K. Proximal row carpectomy versus limited wrist arthrodesis for advanced Kienböck's disease. *J Hand Surg Br Eur Vol*. 1998;23(6):741-745.
38. Pailhé R, Cavaignac E, Murgier J, Laffosse J-M, Swider P. Biomechanical study of ACL reconstruction grafts. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc*. 2015;33(8):1188-1196. doi:10.1002/jor.22889.
39. Piaggio G, Elbourne DR, Altman DG, Pocock SJ, Evans SJW, CONSORT Group. Reporting of noninferiority and equivalence randomized trials: an extension of the CONSORT statement. *JAMA*. 2006;295(10):1152-1160. doi:10.1001/jama.295.10.1152.
40. Pugh L, Mascarenhas R, Arneja S, Chin PYK, Leith JM. Current concepts in instrumented knee-laxity testing. *Am J Sports Med*. 2009;37(1):199-210. doi:10.1177/0363546508323746.
41. Rijke AM, Goitz HT, McCue FC, Delp JL, Lam D, Port Southall E. Graded stress radiography of injured anterior cruciate ligaments. *Invest Radiol*. 1991;26(11):926-933.

42. Rougraff B, Shelbourne KD, Gerth PK, Warner J. Arthroscopic and histologic analysis of human patellar tendon autografts used for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1993;21(2):277-284.
43. Samuelsson K, Andersson D, Ahldén M, Fu FH, Musahl V, Karlsson J. Trends in surgeon preferences on anterior cruciate ligament reconstructive techniques. *Clin Sports Med.* 2013;32(1):111-126. doi:10.1016/j.csm.2012.08.011.
44. Sánchez M, Anitua E, Azofra J, Prado R, Muruzabal F, Andia I. Ligamentization of tendon grafts treated with an endogenous preparation rich in growth factors: gross morphology and histology. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2010;26(4):470-480. doi:10.1016/j.arthro.2009.08.019.
45. Scranton PE, Lanzer WL, Ferguson MS, Kirkman TR, Pflaster DS. Mechanisms of anterior cruciate ligament neovascularization and ligamentization. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 1998;14(7):702-716.
46. Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M. Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2002;18(2):177-182.
47. 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 Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2016;32(6):1165-1173. doi:10.1016/j.arthro.2015.11.027.
48. Sonnery-Cottet B, Thaunat M, Freychet B, Pupim BHB, Murphy CG, Claes S. Outcome of a Combined Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament Reconstruction Technique

- With a Minimum 2-Year Follow-up. *Am J Sports Med.* 2015;43(7):1598-1605. doi:10.1177/0363546515571571.
49. Streich NA, Reichenbacher S, Barié A, Buchner M, Schmitt H. Long-term outcome of anterior cruciate ligament reconstruction with an autologous four-strand semitendinosus tendon autograft. *Int Orthop.* 2013;37(2):279-284. doi:10.1007/s00264-012-1757-5.
50. Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med.* 2003;31(4):522-529.
51. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop.* 1985;(198):43-49.
52. Tomczak RJ, Hehl G, Mergo PJ, Merkle E, Rieber A, Brambs HJ. Tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction: MRI analysis as an important factor in the radiological report. *Skeletal Radiol.* 1997;26(7):409-413.
53. 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. *Am J Sports Med.* 2001;29(6):751-761.
54. Wytrykowski K, Swider P, Reina N, et al. Cadaveric Study Comparing the Biomechanical Properties of Grafts Used for Knee Anterolateral Ligament Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2016;32(11):2288-2294. doi:10.1016/j.arthro.2016.03.004.

55. Yamazaki S, Yasuda K, Tomita F, Minami A, Tohyama H. The effect of intraosseous graft length on tendon-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction using flexor tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2006;14(11):1086-1093. doi:10.1007/s00167-006-0110-1.
56. Yosmaoglu HB, Baltaci G, Ozer H, Atay A. Effects of additional gracilis tendon harvest on muscle torque, motor coordination, and knee laxity in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2011;19(8):1287-1292. doi:10.1007/s00167-011-1412-5.
57. Zantop T, Ferretti M, Bell KM, Brucker PU, Gilbertson L, Fu FH. Effect of tunnel-graft length on the biomechanics of anterior cruciate ligament-reconstructed knees: intra-articular study in a goat model. *Am J Sports Med*. 2008;36(11):2158-2166. doi:10.1177/0363546508320572.

8. ANNEXES :

Annexe 1 : Article soumis à AJSM

Hamstring graft incorporation according to length of graft inside tunnels

MRI comparison of two types of hamstring grafts

Abstract

Background: ACL reconstruction with a quadrupled semitendinosus graft (ST4) is an improvement on the standard technique with two hamstring tendons (STG). However, there is no published comparison of how well these two types of hamstring grafts are incorporated into the bone tunnels. Since the ST4 is shorter, there is less graft material inside the tunnels.

Purpose: The primary objective of this study was to use MRI to compare graft incorporation in the tibial bone tunnels 1 year after ACL reconstruction with either STG or ST4 grafts.

Study design: Cohort study

Methods: Sixty-two patients who underwent ACL reconstruction were enrolled prospectively: 31 with an ST4 graft and 31 with an STG graft. The same surgical technique, fixation method and postoperative protocol were used in both groups. Graft incorporation and ligamentization were evaluated with MRI after 1 year of follow-up. The following parameters were evaluated: signal-to-noise quotient (SNQ), tibial tunnel

enlargement, signal intensity at the bone-graft interface and Howell graft signal assessment. The number of subjects needed to show that the SNQ did not differ between the two techniques by more than 1 standard deviation at the 1 year follow-up was calculated. Student's *t*-test was used to compare the distribution of continuous secondary endpoints.

Results: The mean SNQ was 5.2 ± 4.5 for the STG and 5.9 ± 3.7 for the ST4 ($p > 0.05$).

The mean tibial tunnel widening was $93.7\% \pm 51.7$ for the STG versus $80.0\% \pm 42.9$ for the ST4 ($p = 0.2605$). The groups did not differ in signal intensity at the bone-graft interface ($p = 0.7502$) or the Howell graft signal assessment ($p = 0.4544$).

Conclusion: At the 1-year postoperative follow-up, incorporation and ligamentization of the STG and ST4 grafts were the same based on MRI analysis.

Clinical relevance: The results were at least as good with the ST4 technique as with the standard STG technique in terms of incorporation and ligamentization.

Keywords: ACL reconstruction; ST4; ligamentization; graft incorporation

What is known about the subject: Some surgeons are concerned that the ST4 graft will not be as well incorporated as the STG graft in the bone tunnels because it is shorter. Several studies have already compared the STG and ST4 in terms of isokinetics, knee laxity and functional outcomes. Overall, these have shown that the ST4 is not inferior to the STG, and is actually superior in terms of active joint range of motion and knee flexion strength. However, to our knowledge, no study has compared the incorporation of these two types of grafts on MRI. Moreover, graft incorporation as a function of graft length in the tunnel has only been studied in animals, which does not always transfer to the clinical setting.

What this study adds to existing knowledge: Our study showed that the ST4 is not inferior to the STG in terms of graft incorporation and confirms the results of prior studies on functional outcomes and knee laxity. We also showed that 10 mm of graft inside the femoral bone tunnel is equivalent to 30 mm for the incorporation of a hamstring graft.

Introduction

The hamstring tendons are the most commonly used type of graft for anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction³⁹. The graft configuration typically consists of the semitendinosus (ST) and gracilis (G) tendons.

Some authors have proposed using the ST only (folded in four) because this graft has a larger diameter⁴³ and greater mechanical strength⁶; this would preserve the gracilis tendon and potentially improve functional outcomes^{18 46326}. The techniques using the quadrupled ST has also been called a short graft¹² and an all-inside graft²⁹. We have chosen to call this graft "ST4" in this article.

Since the ST4 is shorter than the STG, some authors have suggested that it is too short to become integrated and heal inside the tibial and femoral tunnels in which the graft is secured⁴³. Histological animal studies have shown that graft length must be at least 5 mm inside the tunnel because the graft can only attach itself in the zone nearest the joint surface with a specific type of collagen fibers, called Sharpey fibers^{30 10}.

Yamazaki et al. have said that placing a longer portion of the graft in the tibial tunnel does not improve anchoring, since it occurs only near the joint⁵¹. In an animal study, Zantop et al. showed that only 15 mm of tissue was needed inside the tunnels for good

incorporation of the graft⁵³. But since all those studies were performed in a controlled laboratory setting, our knowledge of this topic is based on experimental studies that do not replicate real life.

MRI can be used to evaluate the incorporation and healing of grafts inside bone tunnels with specific slices and measurement tools^{17 22}. Many studies have compared the clinical outcomes and residual knee laxity between the STG and ST4 techniques^{3 5 26 18 23 42 35 1 3 5 23 26 42 52 46}. To the best of our knowledge, no study up to now has compared the incorporation of these two types of grafts.

We hypothesized that the ST4 graft can be integrated into bone tunnels and undergo ligamentization as well as the standard STG graft. The primary objective of this study was to compare STG and ST4 graft incorporation in the tibial bone tunnels 1 year after ACL reconstruction based on MRI analysis. The secondary objectives were to compare anterior knee laxity, functional outcomes, clinical outcomes and patient satisfaction between these two techniques.

Material and methods

This was a prospective, single-center, blinded, non-inferiority study performed according to the recommendations of Piaggio et al.³⁷ for non-inferiority studies. The study was approved by our institutional review board. In this study, STG was the reference technique and ST4 was the "new" technique being evaluated.

Patients

Between January and November 2015, 169 patients underwent ACL reconstruction at our facility.

The following inclusion criteria were used: 1) male gender ²⁷, 2) closed growth plates and an age of less than 50 years at the time of surgery, 3) symptoms, clinical examination and MRI show an ACL rupture, 4) healthy contralateral knee, 5) no prior injuries in the knee undergoing surgical repair, 6) no patellofemoral pain, 7) no systemic diseases, 8) agreement to return for 1 year follow-up.

The following exclusion criteria were used during the preoperative phase: 1) injury to the posterior cruciate ligament, lateral collateral ligament or medial collateral ligament, 2) cartilage damage or signs of osteoarthritis. One additional exclusion criteria was applied during the results analysis: 3) wrong tunnel position, defined by Ayala-Mejias et al. ⁴ as an overly vertical tibial tunnel that leads to excessive widening. Tunnel placement was evaluated on MRI using 3D PD TSE sequences based on the following criteria ⁴⁸:

- For the tibial tunnel: on sagittal slices, tunnel positioned behind the Blumensaat line (defined as a tangent line to the cortex of the bottom of the intercondylar notch) with the knee extended.
- For the femoral tunnel: on sagittal slices, position at the intersection between the Blumensaat line and the posterior femoral cortex and on frontal slices, position at the 11 o'clock and 1 o'clock line for right and left knees, respectively.

Of the initial 169 patients, 82 patients did not meet the inclusion criteria. Eleven operated women were excluded (5 STG and 6 ST4). Of the remaining 76 patients, 68 agreed to return for the 1 year follow-up. Three patients were excluded post-enrolment because of an ACL retear (2 STG, 1 ST4). Three patients were excluded post-enrolment due to incorrect tunnel positioning (2 STG, 1 ST4). Finally, 62 patients were included: 31 STG and 31 ST4 (Fig. 1).

The two groups were comparable based on all the criteria shown in Table 1, except for age and graft diameter. The analysis of the primary endpoint (SNQ) was adjusted statistically for these differences between groups.

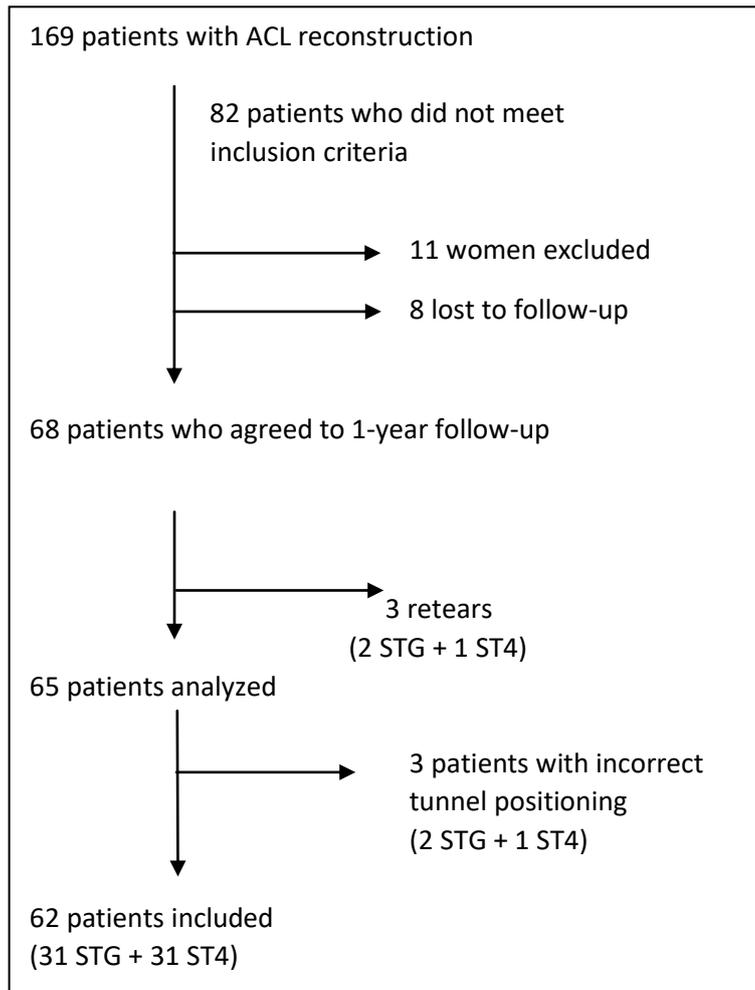


Figure 1: Flow Chart

Graft type	STG (n=31)	ST4 (n=31)	<i>P</i>
Mean age (years)	28.4 ± 7.9	33.1 ± 8.3	0.0280
Mean BMI (kg/m ²)	23.6 ± 2.7	24.4 ± 3.4	0.4304
Mean time between injury and surgery (days)	111.7 ± 78.3	150.1 ± 240.8	0.9047
Mean preoperative Tegner score	6.9 ± 2.0	6.9 ± 2.0	0.9496
Mean time between surgery and MRI (days)	393.8 ± 59.0	404 ± 60.7	0.5065
Meniscus injury	9	14	0.1886
Mean graft diameter	8.45 ± 0.5	8.9 ± 0.9	0.0270

Table 3: Demographics for both groups: Means and standard deviation. Comparison made using Student’s *t*-test

Surgical procedure

The patients underwent ACL reconstruction using the STG or ST4, depending on which surgeon was treating them. In their daily practice, one surgeon always performed ACL reconstruction with STG and the other one always used ST4. This was the only factor considered when selecting one graft over the other.

The type of anesthesia was determined based on patient preference. The patient was placed supine on the operating table with the operated knee in 90° flexion. A tourniquet was applied in all cases (250 mmHg). The knee was cleaned with betadine solution and covered with disposable draping.

For hamstring graft harvesting, a vertical skin incision was made on the anteromedial aspect of the proximal tibia over the pes anserinus. Tendons were harvested using an open stripper (Zimmer Biomet®). Both the gracilis and semitendinosus were harvested in the STG group and only ST in the ST4 group. In the STG group, tendons were then folded to form a four-strand hamstring graft using a cortical device to prepare the graft (ToggleLoc™ Device with ZipLoop™ Technology, Zimmer-Biomet®); the free ends were secured with whip stitch using No. 2 Vicryl suture. In the ST4 group, the ST was folded in four using the same cortical device and the ends were secured using FiberWire® (Arthrex)

The intra-articular surgical technique was identical: the single femoral tunnel was defined using the inside-out method by the anteromedial portal closest to the anteromedial footprint. It was drilled with a 4.5 mm diameter to allow passage of the cortical device. Then a cannulated reamer was used to create the tunnel. The tunnel length was 30 mm in the STG group and 10 mm in the ST4 group. The tibial tunnel was

created with a tibial jig set at 55° and then drilled with a cannulated reamer. The same tibial and femoral aiming devices were used in both patient groups.

In both methods, the graft was then passed through the tibial tunnel, across the joint and into the femoral tunnel. The femoral part of the graft was fixed first using a cortical device (ToggleLoc™ Device with ZipLoop™ Technology). After tensioning the graft several times, the tibial part of the graft was then fixed using an interference screw (LactoSorb®, Zimmer-Biomet) (Figure 2). This screw is made of 82% polylactic acid and 18% polyglycolic acid. The screw size was the same size as the graft diameter and the bone tunnel. Hence, for an 8-mm graft, an 8-mm diameter tunnel was drilled and an 8-mm diameter screw was used.

All patients participated in the same postoperative rehabilitation protocol. Full weight bearing was allowed immediately after surgery.

To summarize, the patients in this study came from the same population pool, were operated by surgeons with similar training using the same instrumentation and the same technique. The fixation methods and rehabilitation protocol were identical for both groups. Only the type of graft differed between the two groups; the femoral tunnel was shorter and the graft length in the femoral and tibial tunnels was shorter in the ST4 group than in the STG group.

Endpoints

Several MRI criteria have been validated for evaluating graft ligamentization: 1) signal/noise quotient (SNQ) ^{22 49 19 34}, 2) femoral tunnel widening ^{17 21 24}, 3) graft healing (signal intensity at bone-graft interface) ¹⁷, 4) graft maturity (water content of graft based on Howell's scale) ²².

The knee MRI examination was done after the patient rested for 1 hour; a 3T MRI unit (Magnetom Skyra, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) with a 15-channel volume array coil was used. The following sequences were taken: 3D proton-density-weighted time-spin echo (PD TSE) and sagittal proton density fat suppressed (PD-FS).

The SNQ for each graft was calculated with the formula:

$$\text{SNQ} = \frac{\text{graft signal} - \text{PCL signal}}{\text{background signal}}$$

For the MRI analysis, the signal intensity (SI) was measured in 0.05 cm² circular regions of interest (ROIs) on oblique sagittal PD-FS images. The graft signal was measured in its intra-articular portion at three sites: superior, middle and inferior. The background signal was measured 2 cm anterior to the patellar tendon (Fig. 3). This value reflects the graft's mechanical strength (11) ^{49 22 19 34}.

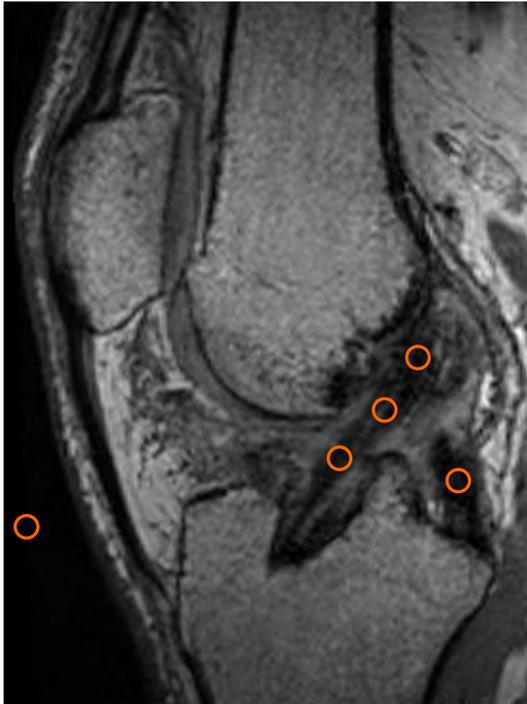


Figure 3: Placement of ROIs used to calculate the SNQ (ROI of 0.05 cm²). Three ROIs were placed on the graft (superior, middle, inferior), one ROI on the PCL and one ROI on an empty area 2 cm anterior to the patellar tendon.

To determine tunnel widening, we measured the mean area at the entrance of each tibial tunnel on oblique MRI images perpendicular to the tunnel's cross-section. The cross-sectional area (CSA) in cm² of the superior portion of the tibial bone tunnel was measured using image post-processing software (Terarecon® (Terarecon Intuition, Foster City, California) on 3D PD TSE sequences (Figure 4). Three-dimensional reconstruction was used to define a perpendicular axis to the graft axis. Tunnel widening was calculated with the formula:

$$\text{CSA increase (\%)} = \frac{\text{Measured CSA} - \text{Drilled CSA}}{\text{Drilled CSA}} \times 100$$

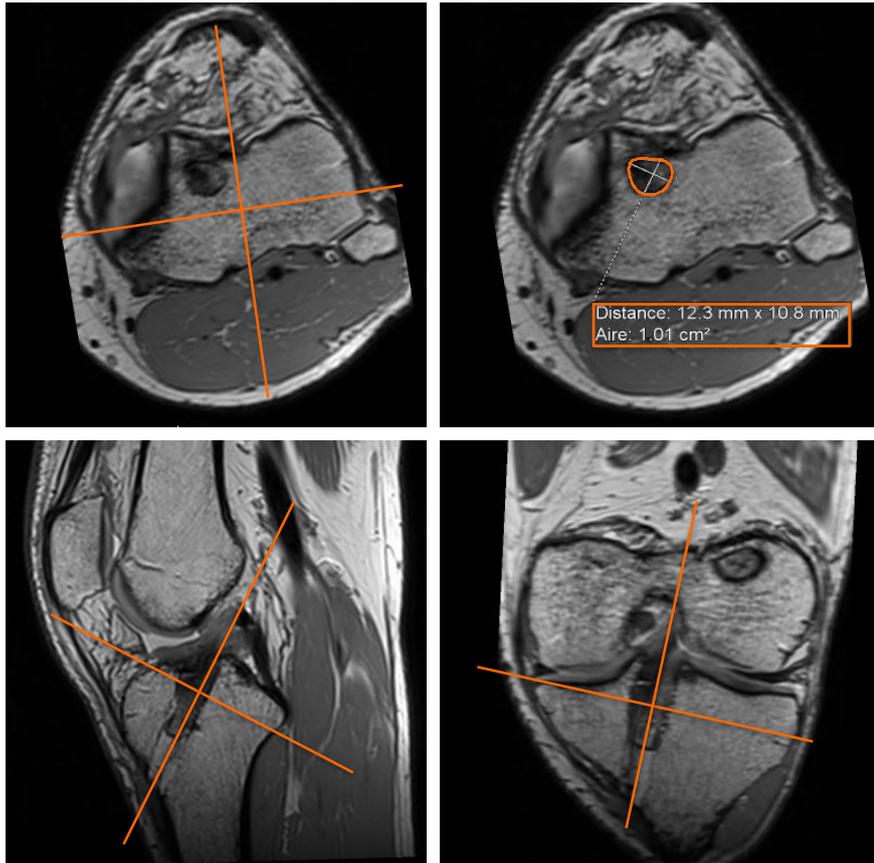


Figure 4: Measurement of the cross-sectional area of the tibial bone tunnel with the Terarecon® software using three-dimensional reconstructions.

We used the protocol described by Yunshen Ge et al. ¹⁷ to measure graft healing (signal intensity at bone-graft interface). Healing was evaluated on sagittal oblique images from PD-FS sequences. Based on this information, the patients were assigned one of three grades:

- I) Low intensity, no fibrosis at bone-graft interface, full attachment
- II) High intensity over a portion of the interface
- III) High intensity over the entire bone-graft interface, poor attachment

(Figure 5).

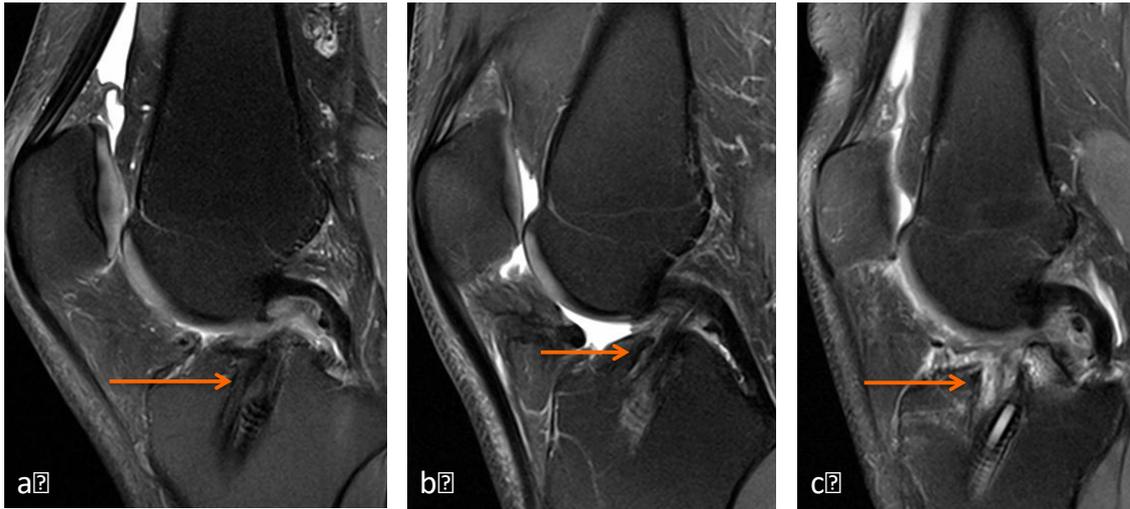


Figure 5: Examples of the three grades assigned to the bone-graft interface: grade I (a), grade II (b) and grade III (c).

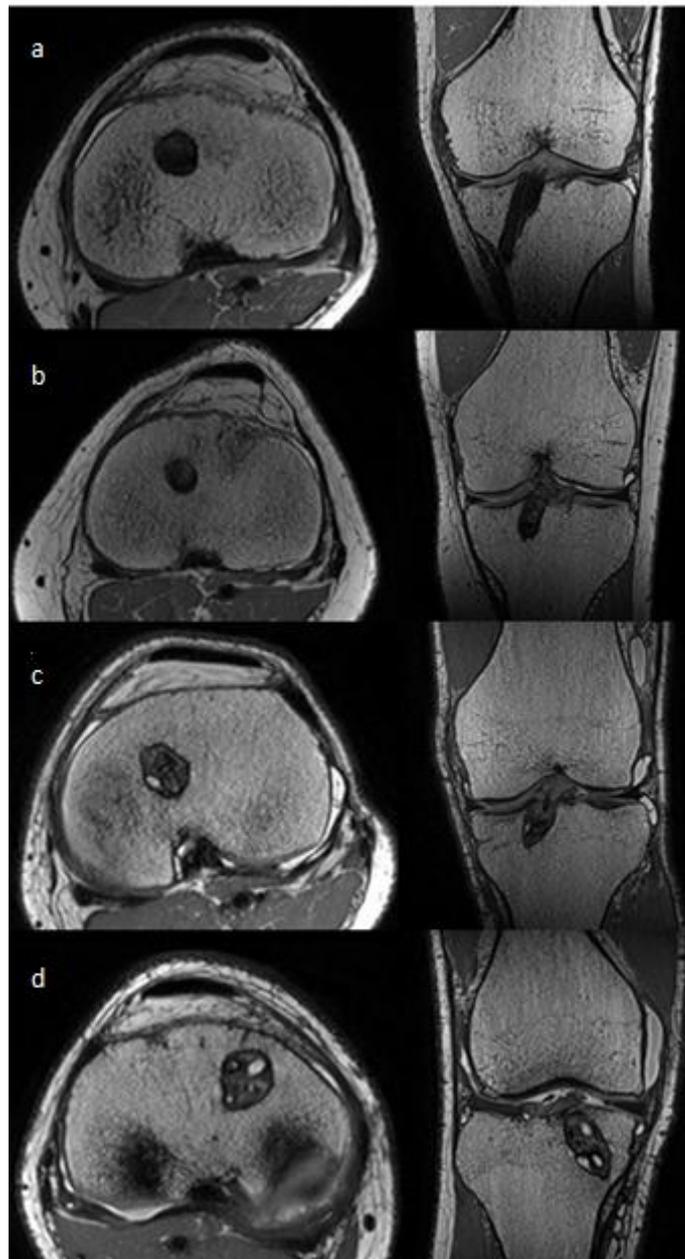
To determine graft maturity, we used a four-grade system based on the graft's MRI signal inside the tibial tunnel according to Howell et al. ²²:

I) Homogeneous, low intensity signal indistinguishable from PCL and patellar tendon

II) Normal ligament signal over at least 50% of its volume, intermingled with portions that have increased signal intensity

III) Increased signal intensity over at least 50% of its volume, intermingled with portions that have a normal ligament signal

IV) Diffuse increase in signal intensity without strands with a normal ligament



appearance. (Figure 6)

Figure 6: Example of the four grades assigned to graft water content according to the Howell scale: grade I (a), grade II (b), grade III (c) and grade IV (d).

Knee stability was measured at the last follow-up using the Lachman test, a pivot shift test and TELOS²⁵ at 150 Newton. The Lachman results were graded as either 0 (< 3 mm), I (3–6 mm), II (6–10 mm) or III (> 10 mm)²⁰. The pivot shift was graded as 0

(absent), I (subluxation), II (jump) or III (transient lock) ²⁰. Clinical examination was performed by a trained orthopedic fellow.

The MRI and Telos images were analyzed by two raters (a radiologist and an orthopedic surgeon) in a double-blind manner. Neither rater knew the grade assigned by the other rater on the same examination, nor the result of the other examination (MRI, Telos). Similarly, the raters did not know which group the patient belonged to when they analyzed the images. The analysis was performed using a PACS workstation (McKesson Horizon Rad Station, McKesson Radiology, San Francisco, California).

Functional outcomes consisted of Lysholm ⁸, Tegner ⁴⁷ and IKDC subjective ²⁰ at 1 year of follow-up.

Patient satisfaction was evaluated with a simple three level questionnaire: very satisfied, satisfied, dissatisfied.

Statistical analysis

We assumed that patients in the STG group have a mean SNQ at 1 year of 2.4 with a standard deviation of 0.6 and that patients in the ST4 group have a mean SNQ at 1 year of 2.5 ³¹. We would like to show that, at worst, a mean standardized difference in SNQ between ST4 and STG group is less than 1 standard deviation. With a 1-sided alpha of 2.5% (i.e. one sided 97.5% confidence interval) and a 1-sided beta of 10%, 31 patients were needed in each group ³².

Before the analyses, we checked for missing, unusual or inconsistent data. After corrections, the database was locked. The analysis was performed on the locked database. We first described the baseline characteristics of the patients in each group using the appropriate descriptive statistics for the type of variables. Descriptive

statistics included the number of non-missing observations, mean with standard deviation (SD) or median with interquartile range (IQR), as appropriate, for continuous variables and number of non-missing observations with frequency (%) for categorical variables. Intraclass correlation coefficient (ICC) with 95% confidence intervals (CI) was calculated to assess interobserver reproducibility for the SNQ values and for the other MRI endpoints. The primary endpoint was analyzed in each group by comparing the one-sided 97.5% CI of the mean SNQ at 1 year to the limit of non-inferiority. To take into account imbalanced baseline characteristics between groups, adjusted mean SNQ (with one-sided 97.5% CI) was assessed in each group using a linear regression model. Categorical secondary endpoints were compared between groups using the Chi-square test (or Fisher's exact test when necessary). Student's *t*-test was used to compare the distribution of continuous secondary endpoints (or Mann-Whitney's test when the data was not normally distributed or when the homoscedasticity assumption was rejected). All reported *p*-values were two-sided, with a significance threshold of < 0.05. Statistical analyses were performed using STATA software (version 14.1, STATA Corp., College Station, TX, USA).

Results

SNQ:

After being adjusted for differences in age and graft diameter, the mean SNQ was 5.2 ± 4.5 in the STG group and 5.9 ± 3.7 in the ST4 group ($p > 0.05$). The unilateral 97.5% confidence interval of the SNQ mean was 5.2 [-; 6.9] for the STG group and 5.9 [-; 7.3] < 9.7 (< at the limit of non-inferiority) for the ST4 group. After adjusting for differences in age and graft diameter, the unilateral 97.5% confidence interval of the

SNQ mean was 5.2 [-; 6.5] for the STG group and 5.9 [-; 7.1] < 9.7 (< at the limit of non-inferiority) for the ST4 group. Hence the ST4 procedure is not inferior to the STG procedure in terms of the SNQ.

Secondary endpoints

The mean tibial tunnel widening was $93.7\% \pm 51.7$ for the STG versus $80.0\% \pm 42.9$ for the ST4 ($p = 0.2605$).

In terms of graft healing (signal intensity at the bone-graft interface): 10 patients were assigned grade I, 15 patients grade II and 6 grade III in the STG group versus 5 patients assigned grade I, 16 grade II and 10 grade III in the ST4 group by the first rater. There were 9 patients assigned grade I, 15 patients grade II and 7 grade III in the STG group versus 14 patients assigned grade I, 11 grade II and 6 grade III in the ST4 group by the second rater. There was no significant difference in the population distributed based on the signal intensity between the two groups ($p = 0.7502$).

For graft maturity (Howell scale), 6 patients were assigned grade I, 12 patients grade II, 9 patients grade III and 4 patients grade IV in the STG group versus 4 patients assigned grade I, 14 grade II, 12 grade III and 1 grade IV in the ST4 group (Figure 5). There were no significant differences between the two groups ($p = 0.4544$).

The mean anterior tibial translation side-to-side difference was 0.8 ± 4.1 for the STG group and 1.2 ± 2 for the ST4 group ($p = 0.7353$) (Table 2). The ST4 group was non-inferior to the STG group for all the functional outcome scores: Lysholm ($p = 0.0189$), Tegner ($p = 0.8936$) and subjective IKDC ($p = 0.0235$).

On the clinical examination, there was no significant difference between the two groups in any of the clinical tests: Lachman sign ($p = 0.6123$), anterior drawer ($p = 1$), and pivot shift ($p = 0.6123$).

In terms of satisfaction, 16 patients were very satisfied, 13 were satisfied and 2 were dissatisfied in the STG group. In the ST4 group, 22 patients were very satisfied, 9 were satisfied and 0 were dissatisfied ($p = 0.1703$).

Graft type	STG (SD)	ST4 (SD)	<i>P</i>
Lysholm	89 ± 17.7	92.0 ± 5.6	0.0189
Tegner	5.8 ± 1.8	5.7 ± 2.0	0.8936
IKDC subjective	79.6 ± 14.4	89.1 ± 9.7	0.0235

Table 4: Functional outcomes in the STG and ST4 groups

Interobserver reproducibility:

For the SNQ measurement, the interobserver reproducibility relative to the mean was 72% (95% CI: 54%, 83%). The MRI endpoints are the mean of both raters. Hence the ICC corresponds to the reliability of the mean. There was good interobserver reproducibility for evaluation of the signal intensity at the bone-graft interface (reliability of the mean: ICC [3,2] = 0.739, (95% CI: 0.567, 0.843), tibial tunnel widening (reliability of the mean: ICC [3,2] = 0.820, (95% CI: 0.702, 0.892), and knee laxity (reliability of the mean: ICC [3,2] = 0.893, (95% CI: 0.822, 0.935))

Discussion

Our hypothesis was confirmed: the ST4 technique is not inferior to the STG technique in terms of graft incorporation. There was also no inferiority in terms of the healing, graft maturity or tibial tunnel widening. Hence, there is no difference in graft

incorporation based on the length of the graft in the tunnels. This is the first study to compare the incorporation of STG and ST4 grafts.

Based on the assumptions made when calculating the sample size for the study, the non-inferiority limit was equal to 1 SD (STG group), or 4.5. To demonstrate the non-inferiority of ST4 relative to STG, the upper limit of the unilateral 97.5% confidence interval of the SNQ mean of the ST4 group had to be less than 9.7 (i.e. $5.2 + 4.5 = 9.7$). The unilateral 97.5% confidence interval of the SNQ mean was 5.2 [-; 6.9] for the STG group and 5.9 [-; 7.3] < 9.7 (< at the limit of non-inferiority) for the ST4 group. After adjusting for differences in age and graft diameter, the unilateral 97.5% confidence interval of the SNQ mean was 5.2 [-; 6.5] for the STG group and 5.9 [-; 7.1] < 9.7 (< at the limit of non-inferiority) for the ST4 group. Hence the ST4 procedure is not inferior to the STG procedure in terms of the SNQ.

The Sharpey fibers that help the graft attach to bone develop over the 5 mm closest to the joint surface^{30 10}. The ST4 graft has the same outcome as the STG graft in terms of its incorporation into bone tunnels. By preserving the gracilis, this tendon can be used for lateral tenodesis⁵⁰. The gracilis is an interesting option for reinforcing the anterolateral aspect of the knee⁵⁰. Sonnery-Cottet et al. showed that the STG can be used to perform intra-articular ACL reconstruction and lateral tenodesis with good clinical outcomes⁴⁴.

Pailhé et al.³⁶ showed that the ST4 had a greater tensile strength than the STG. In that cadaver study, the tests were performed on tissues in their graft configuration. Cavaignac et al.⁹ showed that the diameter of an ST4 graft is on average 20% greater than that of the STG in the same person. The mean graft diameter was 8.45 ± 0.51 mm for the STG and 8.9 ± 0.94 mm for the ST4 in this study.

Weiler et al.⁴⁹ observed that higher signal intensity on contrast-enhanced MRI corresponded to lower mechanical strength of the graft during the early remodeling phase. Hence, the SNQ is inversely proportional to the graft's tensile strength. Several variations of the SNQ have been described, many of which do not require gadolinium injection^{22 19 34}. Other teams have compared the graft signal to that of the quadriceps tendon^{2 34 17}, instead of that of the PCL like Weiler et al.^{49 31 13}. We decided to use the same methodology as Weiler et al., who developed the SNQ measurements on MRI by comparing it to histological evaluations. We did not perform a gadolinium injection, since Weiller and colleagues had shown that it does not alter the signal in the graft at 1 year. The SNQ values found in the literature range from 0.078 ± 0.62 for a ST4 graft at 6 months¹³ to 5.49 ± 3.71 for an allograft after 2 years¹⁷. We found mean SNQ values of 5.2 ± 4.5 (STG) and 5.9 ± 3.7 (ST4) at 1 year.

The tibial tunnel widens during the first few months after ACL reconstruction surgery. Fules et al.¹⁶ showed that MRI was a good examination modality for evaluating tunnel widening on transverse slices. Published tibial tunnel widening values range from 33% for a STG at 6.5 months¹⁶ to 80% for a ST4 at 10 years⁴⁵. We found mean values of 93.7% (STG) and 80% (ST4) at 1 year. We believe that these values are higher than in other studies because we used a screw of the same diameter as the graft, which further widened the tunnel.

The ligamentization process consists of four phases^{41 38}.

- Phase 1 – cell colonization (first 2 months): a synovial neomembrane surrounding the graft is visible at the third week postoperative, providing neovascularization; fibroblasts initially located on the periphery of the graft,

migrate into the looser areas of the matrix where they proliferate and finally repopulate the empty areas of the matrix.

- Phase 2 – collagen remodeling (2 months to 1 year): increase in the number of fibroblasts along with neovascularization.
- Phase 3 – maturation (1 to 3 years): reduction in cell content and vascularity, maturation of collagen fibers.
- Phase 4 – quiescence (beyond 3 years): the grafts have a true ligament structure, comparable to the native ACL. Vascularization is no longer present and the number of fibroblasts is very low.

Women were excluded from this study because hormonal changes can affect the graft's ligamentization^{14 7} during the menstrual cycle. Kiapour et al.²⁷ showed in animal studies that female subjects had worse results than male subjects in terms of graft structural properties and knee laxity.

We verified the plausibility of our results by comparing the values found in our study with those found in published studies. The side-to-side differences anterior translation found in the literature range from 0.62 ± 2.13 for the ST4 at 6 months¹³ to 2.7 mm (-4.5; -9.5) for the ST4 at 7 years¹⁵. Our mean values on the Telos knee laximeter were 0.8 (STG) and 1.2 (ST4) at 1 year. The number of retears was consistent with published results (greater than 3% retear rate at 2 years after ACL reconstruction with the STG according to Mohtadi's meta-analysis³³).

In terms of clinical scores, we did not find any studies that have shown a significant difference between the two techniques. For both the IKDC and Lysholm scores, every study has found the STG and ST4 to be equal^{3 5 18 23 26 42 28}. In isokinetic testing, Gobbi et al.¹⁸ showed that the STG technique resulted in a greater internal

rotation deficit in the knee than ST4. Other studies ⁴⁶³ have shown that the ST4 technique resulted in less loss of active flexion range and flexion strength than the STG. Karimi-Mobarakeh et al. ²⁶ reported the same observation in terms of knee flexion strength loss. No study has found a significant difference in knee stability between the two techniques. This was confirmed in a meta-analysis done by Sharma et al. ⁴³ that included eight studies.

Our study had several limitations. SNQ is a variable parameter that peaks at 6 months and then decreases until 60 months postoperative ³⁴. This means that we may have evaluated our patients too early in the follow-up period. This is consistent with studies ⁴⁰³⁸ showing that remodeling persists for up to 24–36 months, at which point the graft becomes quiescent. However the meta-analysis done by Claes ¹¹ found that there was no agreement on the duration of the various stages of ligamentization. In addition, our two groups were not comparable in terms of age and graft diameter; however, the data were adjusted statistically on those parameters. Lastly, the patients in the two groups were not operated by the same surgeon; however, the surgeons had similar training and used the same surgical technique, except for the graft.

Conclusion

At 1-year postoperative, there were no differences between the incorporation and ligamentization of STG and ST4 grafts based on MRI analysis. The functional outcomes and residual laxity were equal in the two groups. We also showed that 10 mm of graft inside the femoral bone tunnel is equivalent to 30 mm for the incorporation of a hamstring graft.

References

1. Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Sakai Y, Kuriwaka M, Fujihara A. Harvesting hamstring tendons for ACL reconstruction influences postoperative hamstring muscle performance. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2003;123(9):460-465.
2. Ahn JH, Lee SH, Choi SH, Lim TK. Magnetic resonance imaging evaluation of anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled hamstring tendon autografts: comparison of remnant bundle preservation and standard technique. *Am J Sports Med.* 2010;38(9):1768-1777.
3. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Hamstring strength recovery after hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between graft types. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2010;26(4):462-469.
4. Ayala-Mejias JD, Garcia-Gonzalez B, Alcocer-Perez-España L, Villafañe JH, Berjano P. Relationship between Widening and Position of the Tunnels and Clinical Results of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction to Knee Osteoarthritis: 30 Patients at a Minimum Follow-Up of 10 Years. *J Knee Surg.* September 2016.
5. Barenius B, Webster WK, McClelland J, Feller J. Hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: does gracilis tendon harvest matter? *Int Orthop.* 2013;37(2):207-212.
6. 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.* 2015;46 Suppl 6:S14-17.
7. Blecher AM, Richmond JC. Transient laxity of an anterior cruciate ligament-reconstructed knee related to pregnancy. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 1998;14(1):77-79.
8. 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.* 2009;37(5):890-897.
9. 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.* 2014;21(6):1014-1017.
10. Chen C-H. Graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol SMARTT.* 2009;1(1):21.
11. 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.* 2011;39(11):2476-2483.
12. Collette M, Cassard X. The Tape Locking Screw technique (TLS): A new ACL reconstruction method using a short hamstring graft. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* 2011;97(5):555-559.
13. 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.* 2016;44(11):2838-2845.

14. Dragoo JL, Lee RS, Benhaim P, Finerman GAM, Hame SL. Relaxin receptors in the human female anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2003;31(4):577-584.
15. Ejerhed L, Kartus J, Sernert N, Köhler K, Karlsson J. Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction? A prospective randomized study with a two-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2003;31(1):19-25.
16. 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.* 2003;10(1):87-91.
17. 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 Off J ESSKA.* 2015;23(4):954-960.
18. Gobbi A, Domzalski M, Pascual J, Zanazzo M. Hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: is it necessary to sacrifice the gracilis? *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2005;21(3):275-280.
19. 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.* 2007;89(9):1165-1171.
20. Hefti F, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 1993;1(3-4):226-234.
21. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 1998;6(4):231-240.
22. 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.* 1991;19(1):42-47.
23. Inagaki Y, Kondo E, Kitamura N, et al. Prospective clinical comparisons of semitendinosus versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc.* 2013;18(5):754-761.
24. Iorio R, Vadalà A, Argento G, Di Sanzo V, Ferretti A. Bone tunnel enlargement after ACL reconstruction using autologous hamstring tendons: a CT study. *Int Orthop.* 2007;31(1):49-55.
25. Jardin C, Chantelot C, Migaud H, Gougeon F, Debroucker MJ, Duquennoy A. [Reliability of the KT-1000 arthrometer in measuring anterior laxity of the knee: comparative analysis with Telos of 48 reconstructions of the anterior cruciate ligament and intra- and interobserver reproducibility]. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot.* 1999;85(7):698-707.
26. Karimi-Mobarakeh M, Mardani-Kivi M, Mortazavi A, Saheb-Ekhtiari K, Hashemi-Motlagh K. Role of gracilis harvesting in four-strand hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: a double-blinded prospective randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2015;23(4):1086-1091.

27. 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.* 2015;43(7):1623-1631.
28. Kyung H-S, Lee H-J, Oh C-W, Hong H-P. Comparison of results after anterior cruciate ligament reconstruction using a four-strand single semitendinosus or a semitendinosus and gracilis tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2015;23(11):3238-3243.
29. Lubowitz JH. All-inside anterior cruciate ligament graft link: graft preparation technique. *Arthrosc Tech.* 2012;1(2):e165-168.
30. Lui P, Zhang P, Chan K, Qin L. Biology and augmentation of tendon-bone insertion repair. *J Orthop Surg.* 2010;5:59.
31. Ma Y, Murawski CD, Rahnemai-Azar AA, Maldjian C, Lynch AD, Fu FH. Graft maturity of the reconstructed anterior cruciate ligament 6 months postoperatively: a magnetic resonance imaging evaluation of quadriceps tendon with bone block and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2015;23(3):661-668.
32. Machin D, ed. *Sample Size Tables for Clinical Studies.* 3rd ed. Chichester, West Sussex, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2008.
33. Mohtadi NG, Chan DS, Dainty KN, Whelan DB. Patellar tendon versus hamstring tendon autograft for anterior cruciate ligament rupture in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011;(9):CD005960.
34. 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.* 2008;24(9):1038-1044.
35. Nakamura R, Horii E, Watanabe K, Nakao E, Kato H, Tsunoda K. Proximal row carpectomy versus limited wrist arthrodesis for advanced Kienböck's disease. *J Hand Surg Br Eur Vol.* 1998;23(6):741-745.
36. Pailhé R, Cavaignac E, Murgier J, Laffosse J-M, Swider P. Biomechanical study of ACL reconstruction grafts. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* 2015;33(8):1188-1196.
37. Piaggio G, Elbourne DR, Altman DG, Pocock SJ, Evans SJW, CONSORT Group. Reporting of noninferiority and equivalence randomized trials: an extension of the CONSORT statement. *JAMA.* 2006;295(10):1152-1160.
38. Rougraff B, Shelbourne KD, Gerth PK, Warner J. Arthroscopic and histologic analysis of human patellar tendon autografts used for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1993;21(2):277-284.
39. Samuelsson K, Andersson D, Ahldén M, Fu FH, Musahl V, Karlsson J. Trends in surgeon preferences on anterior cruciate ligament reconstructive techniques. *Clin Sports Med.* 2013;32(1):111-126.

40. Sánchez M, Anitua E, Azofra J, Prado R, Muruzabal F, Andia I. Ligamentization of tendon grafts treated with an endogenous preparation rich in growth factors: gross morphology and histology. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2010;26(4):470-480.
41. Scranton PE, Lanzer WL, Ferguson MS, Kirkman TR, Pflaster DS. Mechanisms of anterior cruciate ligament neovascularization and ligamentization. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 1998;14(7):702-716.
42. Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M. Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2002;18(2):177-182.
43. 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 Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2016;32(6):1165-1173.
44. Sonnery-Cottet B, Thauinat M, Freychet B, Pupim BHB, Murphy CG, Claes S. Outcome of a Combined Anterior Cruciate Ligament and Anterolateral Ligament Reconstruction Technique With a Minimum 2-Year Follow-up. *Am J Sports Med*. 2015;43(7):1598-1605.
45. Streich NA, Reichenbacher S, Barié A, Buchner M, Schmitt H. Long-term outcome of anterior cruciate ligament reconstruction with an autologous four-strand semitendinosus tendon autograft. *Int Orthop*. 2013;37(2):279-284.
46. Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med*. 2003;31(4):522-529.
47. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop*. 1985;(198):43-49.
48. Tomczak RJ, Hehl G, Mergo PJ, Merkle E, Rieber A, Brambs HJ. Tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction: MRI analysis as an important factor in the radiological report. *Skeletal Radiol*. 1997;26(7):409-413.
49. 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. *Am J Sports Med*. 2001;29(6):751-761.
50. Wytrykowski K, Swider P, Reina N, et al. Cadaveric Study Comparing the Biomechanical Properties of Grafts Used for Knee Anterolateral Ligament Reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc*. 2016;32(11):2288-2294.
51. Yamazaki S, Yasuda K, Tomita F, Minami A, Tohyama H. The effect of intraosseous graft length on tendon-bone healing in anterior cruciate ligament reconstruction using flexor tendon. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2006;14(11):1086-1093.

52. Yosmaoglu HB, Baltaci G, Ozer H, Atay A. Effects of additional gracilis tendon harvest on muscle torque, motor coordination, and knee laxity in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2011;19(8):1287-1292.
53. Zantop T, Ferretti M, Bell KM, Brucker PU, Gilbertson L, Fu FH. Effect of tunnel-graft length on the biomechanics of anterior cruciate ligament-reconstructed knees: intra-articular study in a goat model. *Am J Sports Med*. 2008;36(11):2158-2166.

Annexe 2 : Corrections AJSM

Subject of the work

I think that this is a well written and organized manuscript. The design of the study is well outlined and for most part easy to follow. I think there are some parts of the methods section (graft and screw length in the tibial tunnels) that can be clarified and made better. There is also some confusion regarding the assessment of the femoral tunnel that needs to be cleaned up. I do believe that this study makes a novel contribution to the existing literature from the technical standpoint of hamstring graft harvest and utilization of STG versus ST4 graft.

Reviewer 1 Comments for the Author...

Purpose/Objective:

The primary objective of this manuscript is to compare the incorporation of two types of hamstring autograft (quadrupled semitendinosus graft (ST4) vs. two-hamstring tendon graft (STG) in the tibial ACL tunnel at 1 year post ACL reconstruction based on MRI. The secondary objectives were to compare anterior knee laxity, function and clinical outcomes between the two types of grafts.

Introduction:

Line 63-66: What graft length (mm) is considered too short? I think the introduction should have a general discussion regarding the average length of STG and ST4 hamstring graft after the harvest and the target measurements a surgeon is aiming to achieve. For example, if the graft is X mm long and the intra-articular portion of the graft is about 30 mm how much of the graft should be placed into the femoral and tibial tunnel?

Lines 74-75: I think it would be useful to include some basic information on exactly how the MRI is capable of evaluating or accessing graft incorporation and healing inside the ACL tunnels. I know that there is a very detailed discussion regarding the SNQ and signal intensity at bone-graft interface in the Material & Methods section, but I think this concept has to be introduced a bit earlier on a very basic / elementary level to help the reader understand the manuscript better as this is predominantly a radiographic (MRI) study. Is high signal intensity of the reconstructed ACL graft on MRI images a cause for concern?

Graft signal intensity has a significant negative linear correlation with the material strength of the ACL graft. High signal intensity on MRI indicates a decrease in mechanical properties of the reconstructed graft. Based on MRI images, the signal/noise quotient (SNQ) represents graft maturity. Following this logic, a high graft signal intensity represents a high SNQ value, which indicates inferior graft maturity.

Material & Methods:

Lines: 103-105: Where plain radiographs used to judge tibial tunnel position post-operatively in addition to the MRI?

Table 1: I noticed that there was 9 instances of concomitant meniscal injury in cases where STG graft was used versus 14 instances in cases where ST4 graft was used. Were these meniscal injuries addressed similarly during the time of ACL reconstruction? Was

one surgeon more aggressive about repairing the posterior horn of the medial meniscus at the time of ACL reconstruction versus just doing a partial medial meniscectomy?

Surgical Procedure

Lines 141 – 181: Can you comment on the total average length of the two hamstring grafts (STG and ST4) that were used. I want to know how much of the hamstring graft was placed into the tibial tunnel in each scenario. For example, if the average STG graft was 100 mm long and 30 mm of the graft was placed into the femoral tunnel and the intra-articular portion of the graft was about 30 mm then about 40 mm of the graft was placed into the tibial tunnel. Following this logic if the average ST4 graft length was 50 mm and 10 mm of the graft was placed into the femoral tunnel than only 10 mm of the graft was placed into the tibial tunnel.

I also notice that both surgeons used suspensory fixation on the femur (ToggleLoc cortical button) and interference screw fixation (LactoSorb) on the tibia. Can you **comment on the reasoning behind this “hybrid” suspensory-interference screw fixation**? The manuscript mentions that the screw size was always the same size as the graft diameter and the bone tunnel (8 mm). Did the screw length vary depending on the amount / length of the graft that was in the tibial tunnel? **I’m curious to know the length** of the interference screw that was used in cases with a very short ST4 graft with 10-15 mm of the graft in the tibial tunnel? How do you know if the screw was not too proud intra-articularly?

Endpoints

Lines 184-187: **I think it should say “tibial tunnel widening” as you did not** evaluate femoral tunnel widening.

Lines 204-208: As this is an MRI study you are using an MRI to measure tibial tunnel widening. How does CT evaluation of tibial tunnel widening compare with MRI? Is it more accurate? Does the MRI over-estimate the tunnel widening?

Figure 5: I would recommend moving / minimizing the white boxes with the arrows pointing to the tibial tunnels as some of the boxes partially cover up the sagittal MRI images of the tibial tunnels.

Lines 239-240: I see that one of the objective ways that post-operative knee stability was measured was with TELOS stress radiography. **I’m not familiar** with the TELOS device as I use the KT-1000 in my practice for evaluation of side-to-side difference in anterior translation. How does the TELOS device compare to the KT-1000 arthrometer (MEDmetric, San Diego, CA)?

Discussion / Conclusion:

Lines 425-427: I do not understand this last part of the conclusion. This was an MRI study that eccentrically looked at the signal changes around the graft in the tibial tunnel. There was no mention of evaluation of the graft maturity, integration or ligamentization at the femoral tunnel or any evaluation of femoral tunnel widening on MRI.

Manuscript Assessment:

I think that this is a very well written and organized manuscript. The design of the study is well outlined and for most part easy to follow. It is a radiographic (MRI) study that does require some basic understanding of image parameters (SNQ, signal intensity, etc).

This can be introduced and explained in simpler terms in the introduction section. I think there are some parts of the methods section (graft and screw length in the tibial tunnels) that can be clarified and made better. There is also some confusion regarding the assessment of the femoral tunnel as one of the conclusions states that data shows that 10 mm of the graft inside the femoral tunnel is equivalent to 30 mm for incorporation of the graft. This paper predominantly addresses the graft within the tibial tunnel and does not address the femoral tunnel directly.

I do believe that this study makes a novel contribution to the existing literature from the technical standpoint of hamstring graft harvest and utilization of STG versus ST4 graft. The study shows good radiographic (MRI) evidence that ST4 graft is not inferior to STG graft in terms of graft incorporation in the tibial tunnel. It is difficult to make any further conclusions regarding clinical outcomes based on this radiographic data. There was a recent publication in KSSTA (2016) that set out to determine this exact point and looked at whether MRI-based graft maturity (using similar parameters as in this current manuscript) predicts clinical and functional scores during the first year after ACL reconstruction. One of the major conclusions of this study was that MRI-based graft maturity does not have the ability to predict clinical and functional outcomes in patients at the first-year follow-up. I think this will be a good citation to include in this **manuscript's** discussion section. Please see citation below.

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.* 2016 Aug 2. PMID: 27485123

Subject of the work

Research question of this study was interesting and has some clinical relevance. However, the methods were not enough to prove their hypothesis. Discussion was superficial and was not well organized. I presume that the manuscript, at least, needs major revision for publication.

Reviewer 2 Comments for the Author...

The authors concluded that 10 mm of graft inside the femoral bone tunnel is equivalent to 30 mm for the incorporation of a hamstring graft. If so, it would be interesting and have some clinical relevance. However, incorporation of the graft to the bone was examined not in the femoral tunnel but in the tibial tunnel. Based on these results in this study, it could not be concluded that 10 mm is equivalent to 30 mm. Another concern is measurement of SNQ. Primary endpoint of this study was to compare graft incorporation and ligamentization inside the tibial tunnels. But the authors measured SNQ in the intra-articular portion of the graft. To prove their hypothesis, the authors should measure it in the intra-tunnel part of the graft.

Materials and Methods

L118, Table 1: How was the graft length?

L162: One of the disadvantages of the anteromedial portal technique is short femoral tunnel. If femoral socket length was 30mm in the STG group, I am afraid there were some femoral tunnels that were too short for ToggleLoc. How was the range of total length of the femoral tunnel.

L163: Where was the aiming point of the tibial tunnel?

L164: What kind of femoral aiming device was used?

L217: Raters would be able to know which group the patient belonged to, because the femoral tunnel length was apparently different.

Results

L 283: How long were the grafts in each group? How much length was in each of the tunnels in each group? Were any patients lost to follow-up?

L309: Results of Telos were not noted in table 2.

Discussion

L346: This is limited to the animal study. Within in my knowledge, there is no study to demonstrate the same findings in humans.

L377-389: Explanation of the ligamentization process should be deleted.

Conclusion

L420: Also the clinical follow-up was too short; less than the usual 2 years minimum.

L425: The last sentence cannot be derived from this study, because MRI findings in the femoral tunnels were not evaluated.

Figures: Remove the white space around the arrows and outlines; it obscures the images.

Subject of the work

While the premise of the article is interesting, I believe the study lacks the scientific rigor to merit publication in this journal. The evaluation of graft incorporation based on MRI is questionable especially given one time point. Total area of incorporation at bone-graft interface may be more important than quality of incorporation which this study attempts to define. Furthermore, for a 4-stranded graft such as STG graft a screw-sheath construct provide much better fixation than interference screw, which is one of few options for ST4 graft.

Reviewer 3 Comments for the Author...

Abstract

lines 6-8 This introductory sentence is a strong statement that lacks evidence to make such a strong claim.

lines 9-10 Does the "less graft material" apply to the tibial tunnel also?

lines 21-23 Instead of stating that the number was calculated, the authors should just mention the number needed and how it was derived.

lines 46-48 How can this statement be made? This study only addressed the visual quality of incorporation. Perhaps the total area of incorporation at bone-graft interface could be more important than the quality of the incorporation.

Background

Overall well-written. Frames the debate very well.

lines 79-80 Hypothesis should be clearly defined and numerically measurable.

Materials and methods

lines 87-88 "Noninferiority study" is not a common designation. Although referenced, further explanation in text is needed.

line 94 The exclusion of women is not justified.
lines 97-98 (7) vague. Specific diseases should be mentioned and clarified.
lines 99-101 Any injury excluded, including grade 1 MCL sprain? This should be specifically defined, i.e. what was the grade cut-off?
lines 101-102 The exact level of acceptable cartilage damage and osteoarthritis should be clearly defined using known classification systems.
lines 102-103 Why was "vertical graft" exclusion criterion chosen? This should be explained.
lines 168-171 Why wasn't a sheath and screw construct used? This fixation method has better fixation especially in STG group.
lines 184-187 Is graft healing really a measure of "ligamentization"?
lines 194-196 Were graft signal values summed or averaged?
lines 209-216 Was any measure of tunnel diameter made immediately post-op using fluoroscopy or radiographs?
lines 235-236 Please invert image d to same orientation as other images.
lines 250-251 If this truly was a "prospective" study, why weren't pre-operative KT and TELOS measurements and functional outcome scores obtained?

Results

lines 285-286 Please list specific p-value.
lines 291-292 This line should be stated, "The ST4 procedure is not statistically different to the STG procedure in terms of SNQ."
lines 297-303 This information may be better displayed in a table or figure.
lines 309-311 These statistically significant values need to be highlighted.
lines 312-314 Instead of reporting averages, more important to list number of those with Lachman < 3 mm in each group.

Discussion

lines 333-334 This sentence is not substantiated in text of manuscript.
lines 390-393 This information does not justify the exclusion of women from the study.
lines 425-427 This statement is not really substantiated. Healing at bone-graft interface was not significantly different.

Annexe 3 : fiche de recueil informations patients

INFORMATIONS GENERALES

NOM Prénom
DDN / / Age ans
Poids kg Taille cm

Genou D / G

Date trauma initial / /

Contexte sportif O / N préciser :

Chirurgie LCA :

- Date : / /2015
- Ambulatoire : oui / non

Satisfaction : très satisfait / satisfait / pas satisfait

Date de reprise de sport :

Date de reprise travail :

Tabagisme actif : oui / non

Cigarettes par jour :

Depuis combien d'années :

Médicaments au long cours :

Sport de prédilection :

SCORES FONCTIONNELS POST OPERATOIRES

Score de Lysholm-Tegner : TOTAL /100

DOULEUR	SCORE
<input type="checkbox"/> Jamais	25
<input type="checkbox"/> Légère et intermittente si effort important	20
<input type="checkbox"/> Pendant ou après un effort important	15
<input type="checkbox"/> Pendant ou après un effort modéré	10
<input type="checkbox"/> Pendant ou après un effort léger	5
<input type="checkbox"/> Constante	0

INSTABILITE	SCORE
<input type="checkbox"/> Jamais de dérobement	25
<input type="checkbox"/> Rarement en effort important	20
<input type="checkbox"/> Fréquemment en effort important	15
<input type="checkbox"/> Parfois dans les activités quotidiennes	10
<input type="checkbox"/> Souvent dans les activités quotidiennes	5
<input type="checkbox"/> A chaque pas	0

BLOPAGE	SCORE
<input type="checkbox"/> Jamais	15
<input type="checkbox"/> Arrêt brusque occasionnel	10
<input type="checkbox"/> Blocage occasionnel	6
<input type="checkbox"/> Blocage fréquent	2
<input type="checkbox"/> Blocage aigu	0

GONFLEMENT	SCORE
<input type="checkbox"/> Jamais	10

<input type="checkbox"/> Lors des exercices intenses	6
<input type="checkbox"/> Lors des activités courantes	2
<input type="checkbox"/> Constant	0

ESCALIERS	SCORE
<input type="checkbox"/> Pas de gêne	10
<input type="checkbox"/> Léger handicap	6
<input type="checkbox"/> Une marche à la fois	2
<input type="checkbox"/> Impossible	0

ACCROUISSEMENTS	SCORE
<input type="checkbox"/> Pas de gêne	5
<input type="checkbox"/> Léger handicap	4
<input type="checkbox"/> Pas plus de 90°	2
<input type="checkbox"/> Impossible	0

BOITERIE	SCORE
<input type="checkbox"/> Aucune	5
<input type="checkbox"/> Modérée occasionnelle	3
<input type="checkbox"/> Sévère constante	0

CANNE	SCORE
<input type="checkbox"/> Jamais	5
<input type="checkbox"/> En permanence	2
<input type="checkbox"/> Station debout impossible	0

- Activités intenses comme un travail physique dur, le ski ou le tennis
- Activités modérées comme un travail physique moyen, la course à pied ou le jogging
- Activités douces comme la marche, les travaux ménagers ou le jardinage.
- Aucune des activités ci-dessus ne m'est possible à cause de mon genou qui se dérobe.

8. Quel est le plus haut niveau d'activité que vous pouvez pratiquer régulièrement ?

- Activités très intenses comportant sauts et rotations comme au basket ou au football
- Activités intenses comme un travail physique dur, le ski ou le tennis
- Activités modérées comme un travail physique moyen, la course à pied ou le jogging
- Activités douces comme la marche, le ménage ou le jardinage.
- Aucune des activités ci-dessus ne m'est possible à cause de mon genou.

9. Quelle incidence a votre genou sur votre capacité à... ?

Pas difficile Légèrement difficile Difficile Très difficile Impossible

- | | | | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a. Monter les escaliers | <input type="checkbox"/> |
| b. Descendre les escaliers | <input type="checkbox"/> |
| c. S'agenouiller | <input type="checkbox"/> |
| d. S'accroupir | <input type="checkbox"/> |
| e. S'asseoir | <input type="checkbox"/> |
| f. Se lever d'une chaise | <input type="checkbox"/> |
| g. Courir en ligne droite | <input type="checkbox"/> |
| h. Sauter avec réception sur la jambe faible | <input type="checkbox"/> |
| i. S'arrêter et repartir brusquement (marche, course à pied) | <input type="checkbox"/> |

10. Comment notez-vous la fonction de votre genou sur une échelle de 0 à 10 (10 correspondant au fonctionnement optimal et 0 étant l'incapacité à accomplir les activités de la vie quotidienne et sportives).

→ FONCTION AVANT L'ACCIDENT/LA BLESSURE DU GENOU :

- | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 0 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> | 5 <input type="checkbox"/> | 6 <input type="checkbox"/> | 7 <input type="checkbox"/> | 8 <input type="checkbox"/> | 9 <input type="checkbox"/> | 10 <input type="checkbox"/> |
| Performance nulle | | | | | | | | | | Performance quotidienne optimale |

→ FONCTION ACTUELLE DU GENOU :

- | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 0 <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> | 5 <input type="checkbox"/> | 6 <input type="checkbox"/> | 7 <input type="checkbox"/> | 8 <input type="checkbox"/> | 9 <input type="checkbox"/> | 10 <input type="checkbox"/> |
| Performance nulle | | | | | | | | | | Performance quotidienne optimale |

Score de TEGNER, NIVEAU D'ACTIVITES

En vous aidant de la liste ci-dessous, indiquez votre plus haut niveau d'activités :

AVANT VOTRE BLESSURE :

ACTUELLEMENT :

Niveau 10 : pratique d'un sport de compétition - niveau national ou international (football, rugby...)

Niveau 9 : pratique d'un sport de compétition - niveau inférieur : football, hockey sur glace, gymnastique...

Niveau 8 : pratique d'un sport de compétition : squash, badminton, athlétisme (saut), ski alpin

Niveau 7 : sport de compétition : tennis, athlétisme (course à pied), motocross, handball, basket-ball

OU sport de loisir : football, hockey sur glace, squash, athlétisme (saut)...

Niveau 6 : pratique d'un sport de loisir : tennis, badminton, handball, basket-ball, ski alpin, jogging, à raison de cinq entraînements par semaine

Niveau 5 : pratique d'un sport de compétition : cyclisme

OU Sport de loisir : jogging à raison de deux entraînements par semaine sur sol irrégulier

OU Travail lourd : bâtiment...

Niveau 4 : pratique d'un sport de loisir : cyclisme, jogging à raison de deux entraînements par semaine sur terrain plat

OU travail d'activité moyenne : chauffeur routier, travail domestique éprouvant

Niveau 3 : pratique d'un sport de compétition ou loisir : natation, travail léger, marche en forêt possible

Niveau 2 : Travail léger, marche en forêt impossible

Niveau 1 : Travail sédentaire, marche sur terrain plat possible

Niveau 0 : Handicap professionnel

Echelle **ACL-RSI**

Instructions : merci de répondre aux questions suivantes concernant le sport principal que vous pratiquiez avant l'accident. Pour chaque question, cochez la case qui vous paraît correspondre le mieux à la situation actuelle de votre genou.

1. Pensez-vous pouvoir pratiquer votre sport au même niveau qu'auparavant ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Pas du tout sûr Totalelement sûr

2. Pensez-vous que vous pourriez vous blesser de nouveau le genou si vous repreniez le sport ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Extrêmement probable Pas du tout probable

3. Etes-vous inquiet à l'idée de reprendre votre sport ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Extrêmement inquiet Pas du tout inquiet

4. Pensez-vous que votre genou sera stable lors de votre pratique sportive ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Pas du tout sûr Totalelement sûr

5. Pensez-vous pouvoir pratiquer votre sport sans vous soucier de votre genou ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Pas du tout sûr Totalelement sûr

6. Etes-vous frustré de devoir tenir compte de votre genou lors de votre pratique sportive ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Extrêmement frustré Pas du tout frustré

7. Craignez-vous de vous blesser de nouveau le genou lors de votre pratique sportive ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Crainte extrême Aucune crainte

8. Pensez-vous que votre genou peut résister aux contraintes ?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Pas du tout sûr Totalelement sûr

9. Avez-vous peur de vous blesser accidentellement le genou lors de votre pratique sportive ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Très peur Pas du tout peur

10. Est-ce que l'idée de devoir éventuellement vous faire réopérer ou rééduquer vous empêche de pratiquer votre sport ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Tout le temps A aucun moment

11. Etes-vous confiant en votre capacité à bien pratiquer votre sport ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Pas du tout confiant Totalement confiant

12. Vous sentez-vous détendu à l'idée de pratiquer votre sport ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Pas du tout détendu Totalement détendu

SCORE ACL-RSI (Total x 100)/120 = _____%

Questionnaire KOOS :

Instructions : Ce questionnaire vous demande votre opinion sur votre genou. Il nous permettra de mieux connaître ce que vous ressentez et ce que vous êtes capable de faire dans votre activité de tous les jours.

Répondez à chaque question. Veuillez cocher une seule case par question. En cas de doute, cochez la case qui vous semble la plus adaptée à votre cas.

Symptomes

Ces questions concernent vos symptomes au cours des huit derniers jours.

S1. Est-ce que votre genou gonfle ?

Jamais Rarement Parfois Souvent Tout le temps

S2. Ressentez-vous ou entendez-vous des craquements ou n'importe-quel autre type de bruit en bougeant le genou ?

Jamais Rarement Parfois Souvent Toujours

S.3 Est-ce que votre genou accroche ou bloque en bougeant ?

Jamais Rarement Parfois Souvent Toujours

S.4 Pouvez-vous étendre votre genou complètement ?

Toujours Souvent Parfois Rarement Jamais

S.5 Pouvez-vous plier votre genou complètement ?

Toujours Souvent Parfois Rarement Jamais

Raideur

Ces questions concernent la raideur de votre genou au cours des huit derniers jours. La raideur est la sensation d'avoir du mal à bouger le genou.

S.6 Le matin au réveil, la raideur est :

Absente Légère Modérée Forte Extrême

S.7 Après être resté(e) assis(e), couchée ou au repos pendant la journée, la raideur de votre genou est :

Absente Légère Modérée Forte Extrême

Douleur

P1. Avez-vous souvent mal au genou?

Jamais Une fois par mois Une fois par semaine Tous les jours Tout le temps

Au cours des huit derniers jours, quelle a été l'importance de votre douleur du genou en faisant les activités suivantes?

P2. En tournant, pivotant sur votre jambe

Absente Légère Modérée Forte Extrême

P3. En étendant complètement le genou

Absente Légère Modérée Forte Extrême

P4. En pliant complètement le genou

Absente Légère Modérée Forte Extrême

P5. En marchant sur un terrain plat

Absente Légère Modérée Forte Extrême

P6. En montant ou en descendant les escaliers

Absente Légère Modérée Forte Extrême

P7. Au lit la nuit

Absente Légère Modérée Forte Extrême

P8. En restant assis(e) ou couché(e)

Absente Légère Modérée Forte Extrême

P9. En restant debout

Absente Légère Modérée Forte Extrême

Fonction, vie quotidienne

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire.

Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour chacune des activités suivantes?

A1. Descendre les escaliers

Absente Légère Modérée Forte Extrême

A2. Monter les escaliers

Absente Légère Modérée Forte Extrême

A3. Vous relever d'une position assise

Absente Légère Modérée Forte Extrême

A4. Rester debout

- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A5. Vous pencher en avant pour ramasser un objet
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A6. Marcher sur un terrain plat
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A7. Monter ou descendre de voiture
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A8. Faire vos courses
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A9. Mettre vos chaussettes ou vos collants
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A10. Sortir du lit
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A11. Enlever vos chaussettes ou vos collants
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A12. Vous retourner ou garder le genou dans la même position en étant couché(e)
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A13. Entrer ou sortir d'une baignoire
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A14. Rester assis(e)
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A15. Vous asseoir ou vous relever des toilettes
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A16. Faire de gros travaux ménagers (déplacer des objets lourds, récurer les sols...)
- Absente Légère Modérée Forte Extrême
- A17. Faire des petits travaux ménagers (faire la cuisine, faire la poussière...)
- Absente Légère Modérée Forte Extrême

Activités, sport et loisirs

Les questions suivantes concernent ce que vous êtes capable de faire au cours d'autres activités.

Au cours des huit derniers jours, quelle a été votre difficulté pour les activités suivantes?

SP1. Rester accroupi(e)

Absente Légère Modérée Forte Extrême

SP2. Courir

Absente Légère Modérée Forte Extrême

SP3. Sauter

Absente Légère Modérée Forte Extrême

SP4. Tourner, pivoter sur votre jambe

Absente Légère Modérée Forte Extrême

SP5. Rester à genoux

Absente Légère Modérée Forte Extrême

Qualité de vie

Q1. Pensez-vous souvent à votre problème de genou?

Jamais Une fois par mois Une fois par semaine Tous les jours Tout le temps

Q2. Avez-vous modifié votre façon de vivre pour éviter les activités qui pourraient aggraver votre problème de genou?

Pas du tout Un peu Modérément Beaucoup Totalelement

Q3. Est-ce qu'un manque de confiance dans votre genou vous gêne?

Pas du tout Un peu Modérément Beaucoup Totalelement

Q4. Finalement, êtes-vous gêné(e) par votre genou?

Pas du tout Un peu Modérément Beaucoup Extrêmement

EXAMEN CLINIQUE :

Pivot Shift Test	0 / 1 / 2 / 3
Lachman	Dur précoce Mou tardif Dur retardé
Mobilité articulaire active	
Mobilité articulaire passive	
Tiroir antérieur	+ / -
Douleur antérieure	+ / -

INCORPORATION D'UN GREFFON AUX ISCHIO-JAMBIERS EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE GREFFE PRESENTE DANS LES TUNNELS

RESUME EN FRANÇAIS : La reconstruction du LCA à l'aide du semi-tendineux seul, replié en 4 brins (DT4) est une évolution de la technique classique utilisant les 2 ischio jambiers (DIDT). Il n'a jamais été publié de comparaison de ces deux techniques concernant l'incorporation osseuse de la greffe. DT4 étant plus courte, il y a moins de matériel dans le tunnel osseux. L'objectif principal de cette étude est de comparer l'incorporation du greffon dans le tunnel osseux tibial, à 1 an d'une ligamentoplastie par DIDT et DT4, sur des images IRM. 62 patients ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA ont été inclus prospectivement (31 DT4 et 31 DIDT). La même technique chirurgicale, les mêmes moyens de fixation et le même protocole de rééducation post-opératoire étaient utilisés dans les deux groupes. Seule la longueur de greffe présente dans les tunnels était différente (DT4 est plus courte). L'intégration et la ligamentisation ont été évaluées par mesure IRM à un an de recul. Les paramètres suivants étaient analysés : signal-to-noise quotient (SNQ), élargissement du tunnel tibial, intensité du signal sur l'interface greffon-os échelle de Howell (mesurant le signal de la greffe). Nous avons déterminé le nombre de sujets nécessaires pour démontrer qu'à un an de recul, la différence entre la valeur de SNQ dans les deux techniques n'excédait pas une déviation standard. Avec un risque α alpha de 2,5 % et un risque β Beta de 10%, nous devons inclure 31 patients dans chaque groupe. Les analyses comparatives ont été réalisées à l'aide de tests t de Student. Les valeurs moyennes du SNQ étaient de 5.2 ± 4.5 pour le groupe DIDT et 5.9 ± 3.7 pour le groupe DT4 ($p > 0.05$). L'élargissement moyen du tunnel tibial était de $93.7\% \pm 51.7$ pour le groupe DIDT contre $80.0\% \pm 42.9$ pour le groupe DT4 ($p = 0.2605$). Il n'y avait pas de différence en fonction de l'intensité du signal sur l'interface greffon-os entre les 2 groupes ($p = 0.7502$) ni en ce qui concerne l'échelle de Howell ($p = 0.4544$). A un an de recul, l'intégration et la ligamentisation évaluées par IRM n'étaient pas différentes dans les deux groupes étudiés DIDT et DT4. Nous mettons donc en évidence que la longueur de greffe n'influe pas l'intégration dans le tunnel.

TITRE EN ANGLAIS : Hamstring graft incorporation according to length of graft inside tunnels. MRI comparison of two types of hamstring grafts

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique

MOTS-CLÉS : Reconstruction du LCA, DTA, ligamentisation, incorporation du greffon

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