



Une nouvelle classification IRM des ruptures du ligament croisé antéro-externe: intérêt diagnostique

Guillaume Oldrini

► To cite this version:

Guillaume Oldrini. Une nouvelle classification IRM des ruptures du ligament croisé antéro-externe: intérêt diagnostique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2010. hal-01733433

HAL Id: hal-01733433

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733433>

Submitted on 14 Mar 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement
dans le cadre du troisième cycle de
Médecine Spécialisée

par

Guillaume Oldrini

le mardi 1^{er} juin 2010

**Une nouvelle classification IRM des ruptures
du ligament croisé antéro-externe : intérêt diagnostique**

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur	Alain Blum	Président
M. le Professeur	Henry Coudane	}
M. le Professeur	Francis Guillemin	}
M. le Docteur	Matthias Louis	}
M. le Docteur	Pedro Gondim Teixeira	} Juges

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement
dans le cadre du troisième cycle de
Médecine Spécialisée

par

Guillaume Oldrini

le mardi 1^{er} juin 2010

**Une nouvelle classification IRM des ruptures
du ligament croisé antéro-externe : intérêt diagnostique**

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur	Alain Blum	Président
M. le Professeur	Henry Coudane	}
M. le Professeur	Francis Guillemin	}
M. le Docteur	Matthias Louis	}
M. le Docteur	Pedro Gondim Teixeira	} Juges

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1

FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Jean-Pierre FINANCE

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Henry COUDANE

Vice Doyen Mission « sillon lorrain » : Professeur Annick BARBAUD

Vice Doyen Mission « Campus » : Professeur Marie-Christine BÉNÉ

Vice Doyen Mission « Finances » : Professeur Marc BRAUN

Vice Doyen Mission « Recherche » : Professeur Jean-Louis GUÉANT

Assesseurs :

- Pédagogie :

Professeur Karine ANGIOÏ-DUPREZ

- 1^{er} Cycle :

Professeur Bernard FOLIGUET

- « Première année commune aux études de santé (PACES)

M. Christophe NÉMOS

et

universitarisation études para-médicales »

- 2^{ème} Cycle :

Professeur Marc DEBOUVERIE

- 3^{ème} Cycle :

« DES Spécialités Médicales, Chirurgicales et
Biologiques »

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

Professeur Francis RAPHAËL

« DES Spécialité Médecine Générale

- Filières professionnalisées :

M. Walter BLONDEL

- Formation Continue :

Professeur Hervé VESPIGNANI

- Commission de Prospective :

Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT

- Recherche :

Professeur Didier MAINARD

- DPC :

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX

Professeur Jacques ROLAND – Professeur Patrick NETTER

=====

PROFESSEURS HONORAIRES

Pierre ALEXANDRE – Jean-Marie ANDRE - Daniel ANTHOINE - Alain BERTRAND - Pierre BEY - Jean
BEUREY

Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL -
Claude CHARDOT Jean-Pierre CRANCE - Gérard DEBRY - Jean-Pierre DELAGOUTTE - Emile de
LAVERGNE - Jean-Pierre DESCHAMPS

Michel DUC - Jean DUHEILLE - Adrien DUPREZ - Jean-Bernard DUREUX - Gabriel FAIVRE – Gérard
FIEVE - Jean FLOQUET

Robert FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ
Simone GILGENKRANTZ - Oliéro GUERCI - Pierre HARTEMANN - Claude HURIET – Christian JANOT -
Jacques LACOSTE Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Alain LARCAN - Marie-Claire LAXENAIRE -
Michel LAXENAIRE - Jacques LECLERE Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Michel MANCIAUX -
Jean-Pierre MALLIÉ - Pierre MATHIEU

Denise MONERET-VAUTRIN - Pierre NABET - Jean-Pierre NICOLAS - Pierre PAYSANT - Francis PENIN -
Gilbert PERCEBOIS Claude PERRIN - Guy PETIET - Luc PICARD - Michel PIERSON - Jean-Marie POLU –
Jacques POUREL - Jean PREVOT Antoine RASPILLER - Michel RENARD - Jacques ROLAND - René-Jean
ROYER - Paul SADOUL - Daniel SCHMITT

Jean SOMMELET - Danièle SOMMELET - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Augusta TREHEUX -
Hubert UFFHOLTZ - Gérard VAILLANT

Paul VERT - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Michel WAYOFF - Michel WEBER

=====

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS
PRATICIENS HOSPITALIERS**
(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Gilles GROSDIDIER

Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN

2^{ème} sous-section : (*Cytologie et histologie*)

Professeur Bernard FOLIGUET

3^{ème} sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2^{ème} sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur Denis REGENT – Professeur Michel CLAUDON

Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER

Professeur René ANXIONNAT

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER – Professeur Bernard NAMOUR

2^{ème} sous-section : (*Physiologie*)

Professeur François MARCHAL – Professeur Bruno CHENUÉL – Professeur Christian BEYAERT

3^{ème} sous-section : (*Biologie Cellulaire*)

Professeur Ali DALLOUL

4^{ème} sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Olivier ZIEGLER – Professeur Didier QUILLIOT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LE FAOU - Professeur Alain LOZNIEWSKI

3^{ème} sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (*Épidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON - Professeur Francis GUILLEMIN

Professeur Denis ZMIROU-NAVIER – Professeur François ALLA

2^{ème} sous-section : (*Médecine et santé au travail*)

Professeur Christophe PARIS

3^{ème} sous-section : (*Médecine légale et droit de la santé*)

Professeur Henry COUDANE

4^{ème} sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Professeur François KOHLER – Professeur Éliane ALBUISSON

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI
Professeur Jean-François STOLTZ – Professeur Pierre FEUGIER

2^{ème} sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie*)

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY
Professeur Didier PEIFFERT – Professeur Frédéric MARCHAL

3^{ème} sous-section : (*Immunologie*)

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4^{ème} sous-section : (*Génétique*)

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1^{ère} sous-section : (*Anesthésiologie et réanimation chirurgicale ; médecine d'urgence*)

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Hervé BOUAZIZ
Professeur Paul-Michel MERTES – Professeur Gérard AUDIBERT

2^{ème} sous-section : (*Réanimation médicale ; médecine d'urgence*)

Professeur Alain GERARD – Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT
Professeur Bruno LÉVY – Professeur Sébastien GIBOT

3^{ème} sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie*)

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4^{ème} sous-section : (*Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie*)

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY – Professeur Faiez ZANNAD

**49^{ème} Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE,
HANDICAP et RÉÉDUCATION**

1^{ère} sous-section : (*Neurologie*)

Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI
Professeur Xavier DUCROCQ – Professeur Marc DEBOUVERIE

2^{ème} sous-section : (*Neurochirurgie*)

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE
Professeur Thierry CIVIT

3^{ème} sous-section : (*Psychiatrie d'adultes ; addictologie*)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Raymund SCHWAN

4^{ème} sous-section : (*Pédopsychiatrie ; addictologie*)

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC – Professeur Bernard KABUTH

5^{ème} sous-section : (*Médecine physique et de réadaptation*)

Professeur Jean PAYSANT

**50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE
PLASTIQUE**

1^{ère} sous-section : (*Rhumatologie*)

Professeur Isabelle CHARY-VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLE

2^{ème} sous-section : (*Chirurgie orthopédique et traumatologique*)

Professeur Daniel MOLE – Professeur Didier MAINARD
Professeur François SIRVEAUX – Professeur Laurent GALOIS

3^{ème} sous-section : (*Dermato-vénéréologie*)

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4^{ème} sous-section : (*Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie*)

Professeur François DAP – Professeur Gilles DAUTEL

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1^{ère} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT – Professeur Ari CHAOUAT

2^{ème} sous-section : (Cardiologie)

Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE – Professeur Nicolas SADOUL

Professeur Christian de CHILLOU

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT - Professeur Jean-Pierre CARTEAUX – Professeur Loïc MACÉ

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Professeur Denis WAHL – Professeur Sergueï MALIKOV

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Professeur Marc-André BIGARD - Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI – Professeur Laurent PEYRIN-
BIROULET

2^{ème} sous-section : (Chirurgie digestive)

3^{ème} sous-section : (Néphrologie)

Professeur Michèle KESSLER – Professeur Dominique HESTIN – Professeur Luc FRIMAT

4^{ème} sous-section : (Urologie)

Professeur Philippe MANGIN – Professeur Jacques HUBERT – Professeur Pascal ESCHWEGE

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

**1^{ère} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ;
addictologie)**

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Gisèle KANNY

2^{ème} sous-section : (Chirurgie générale)

Professeur Patrick BOISSEL – Professeur Laurent BRESLER

Professeur Laurent BRUNAUD – Professeur Ahmet AYAV

**54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-
OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

1^{ère} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pierre MONIN - Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Pascal CHASTAGNER

Professeur François FEILLET - Professeur Cyril SCHWEITZER

2^{ème} sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Pierre JOURNEAU – Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^{ème} sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Michel SCHWEITZER – Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO

4^{ème} sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI

2^{ème} sous-section : (Ophtalmologie)

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Karine ANGIOI-DUPREZ

3^{ème} sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeur Jean-François CHASSAGNE – Professeur Etienne SIMON

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Sandrine BOSCHI-MULLER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (*Anatomie*)

Docteur Bruno GRIGNON – Docteur Thierry HAUMONT

2^{ème} sous-section : (*Cytologie et histologie*)

Docteur Edouard BARRAT - Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3^{ème} sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Docteur Béatrice MARIE

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE – Docteur Amar NAOUN

2^{ème} sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Docteur Damien MANDRY

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Docteur Jean STRACZEK – Docteur Sophie FREMONT

Docteur Isabelle GASTIN – Docteur Marc MERTEN – Docteur Catherine MALAPLATE-ARMAND

Docteur Shyue-Fang BATTAGLIA

2^{ème} sous-section : (*Physiologie*)

Docteur Nicole LEMAU de TALANCE

3^{ème} sous-section : (*Biologie Cellulaire*)

Docteur Véronique DECOT-MAILLERET

4^{ème} sous-section : (*Nutrition*)

Docteur Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière*)

Docteur Francine MORY – Docteur Véronique VENARD

2^{ème} sous-section : (*Parasitologie et mycologie*)

Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU – Madame Marie MACHOUART

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE – Docteur Frédérique CLAUDOT

3^{ème} sous-section (*Médecine légale et droit de la santé*)

Docteur Laurent MARTRILLE

4^{ème} sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Docteur Pierre GILLOIS – Docteur Nicolas JAY

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Docteur François SCHOONEMAN

2^{ème} sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie : cancérologie (type mixte : biologique)*)

Docteur Lina BOLOTINE

3^{ème} sous-section : (*Immunologie*)

Docteur Marcelo DE CARVALHO BITTENCOURT

4^{ème} sous-section : (*Génétique*)

Docteur Christophe PHILIPPE – Docteur Céline BONNET

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

3^{ème} sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique*)

Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT – Docteur Nicolas GAMBIER

4^{ème} sous-section : (*Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie*)

Docteur Patrick ROSSIGNOL

50^{ème} Section : RHUMATOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Rhumatologie*)

Docteur Anne-Christine RAT

**54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-
OBSTÉTRIQUE,**

ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

5^{ème} sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)

Docteur Jean-Louis CORDONNIER
=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^{ème} section : SCIENCE ÉCONOMIE GÉNÉRALE

Monsieur Vincent LHUILLIER

40^{ème} section : SCIENCES DU MÉDICAMENT

Monsieur Jean-François COLLIN

60^{ème} section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE

Monsieur Alain DURAND

61^{ème} section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Monsieur Jean REBSTOCK – Monsieur Walter BLONDEL

64^{ème} section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Mademoiselle Marie-Claire LANHERS

65^{ème} section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY
Madame Ketsia HESS – Monsieur Hervé MEMBRE – Monsieur Christophe NEMOS
Madame Natalia DE ISLA – Monsieur Pierre TANKOSIC

66^{ème} section : PHYSIOLOGIE
Monsieur Nguyen TRAN

67^{ème} section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE
Madame Nadine MUSSE

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS
Médecine Générale

Professeur associé Alain AUBREGE
Professeur associé Francis RAPHAEL
Docteur Jean-Marc BOIVIN
Docteur Jean-Louis ADAM
Docteur Elisabeth STEYER

=====

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Daniel ANTHOINE - Professeur Pierre BEY - Professeur Michel BOULANGE
Professeur Jean-Pierre CRANCE - Professeur Jean FLOQUET - Professeur Jean-Marie GILGENKRANTZ
Professeur Simone GILGENKRANTZ – Professeur Henri LAMBERT - Professeur Alain LARCAN
Professeur Denise MONERET-VAUTRIN - Professeur Jean-Pierre NICOLAS – - Professeur Guy PETIET
Professeur Luc PICARD - Professeur Michel PIERSON - Professeur Jacques POUREL
Professeur Jacques ROLAND - - Professeur Michel STRICKER - Professeur Gilbert THIBAUT
Professeur Hubert UFFHOLTZ - Professeur Paul VERT - Professeur Michel VIDAILHET

=====

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972)
Université de Stanford, Californie (U.S.A)
Professeur Paul MICHIELSEN (1979)
Université Catholique, Louvain (Belgique)
Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)

Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)
Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982)
Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)
Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)
Harry J. BUNCKE (1989)
Université de Californie, San Francisco (U.S.A)
Professeur Daniel G. BICHET (2001)
Université de Montréal (Canada)
Professeur Brian BURCHELL (2007)
Université de Dundee (Royaume Uni)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)
Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)
Université de Pennsylvanie (U.S.A)
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)
Professeur James STEICHEN (1997)
Université d'Indianapolis (U.S.A)
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)
Institute of Technology, Atlanta (USA)

A Notre Maître et Président de Thèse

Monsieur le Professeur Alain Blum

Professeur de radiologie et imagerie médicale

Vous nous avez fait l'honneur de nous guider pour ce travail avec enthousiasme et une grande disponibilité.

L'étendue de vos connaissances est pour nous une source d'admiration et d'inspiration dans notre pratique médicale.

Vous nous faites l'honneur de nous accepter dans votre service.

Que ce travail soit le témoignage de notre gratitude et de notre profond respect.

A Notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Henry Coudane

Professeur de médecine légale

Doyen de la Faculté de Médecine de Nancy

Chevalier de la légion d'honneur

Officier de l'ordre des palmes académiques

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail et de l'intérêt que vous lui portez.

Nous vous remercions de nous avoir permis de recueillir les données de votre service.

Veillez trouver ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

A Notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Francis Guillemin

Professeur d'épidémiologie, économie de la santé et prévention

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail et espérons qu'il saura retenir votre attention.

Soyez assuré de notre gratitude et de notre profond respect.

A Notre Juge

Monsieur le Docteur Matthias Louis

Docteur en Radiologie et Imagerie Médicale

Nous vous remercions de votre aide au quotidien et sommes heureux que vous ayez accepté de juger ce travail.

Soyez assuré de notre gratitude.

A Notre Juge

Monsieur le Docteur Pedro Gondim Teixeira

Docteur en Radiologie et Imagerie Médicale

Nous vous remercions de l'intérêt que vous avez montré pour ce travail et de votre aide précieuse.

Vos conseils sont toujours judicieux et vos remarques constructives.

Veillez trouver ici le témoignage de notre amitié sincère.

A mes Maîtres pour leur enseignement et en particulier à M. le Docteur Philippe Henrot qui me fait l'honneur de m'accepter dans son service

A M. les Professeurs Mainard et Molé et M. les Docteurs Hazotte et Vauge pour m'avoir permis d'accéder à leurs archives

Aux manipulateurs et aux personnels du CHU, du CAV, du CHR de Metz et du CHG Jean-Monnet

A Madame Marie-Line Erpelding (MSc) du Service d'Epidémiologie et Evaluation Cliniques du CHU de Nancy pour son aide précieuse et sa patience.

A Sophie, pour ton aide précieuse. Tu sais déjà tout le bien que je pense de toi

A Alice, ton arrivée a changé ma vie. Je te dédie ce travail ... quand tu seras en âge de lire ces quelques lignes

A mes parents, pour leur gentillesse démesurée. Je vous remercie de votre présence constante à mes côtés. J'espère être aussi bon parent que vous l'êtes.

A Olivier, l'éloignement ne me permet pas de te voir aussi régulièrement que souhaité mais sache que mon enfance à tes côtés a été un plaisir. A Nadia et toi pour tous les bons moments partagés.

A ma famille et à ceux qui restent gravés dans mon cœur.

A ma belle-famille pour son accueil chaleureux.

A mes amis, de la maternelle jusqu'à aujourd'hui, vous m'avez apporté tant de bons moments.

A mes cointernes

Enfin, à Benoît, mon binôme quasi-systématique, qui fut également mon co-référent, merci de ta présence et de ton aide précieuse. Je suis bien content de poursuivre l'aventure à tes côtés pendant 2 ans ... au moins...

Je dédie cette thèse.

SERMENT

"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 sont 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".

Table des matières

Introduction	18
Matériel et Méthode	20
Résultats	28
Discussion	31
Conclusion	34
Bibliographie.....	35
Annexe : version anglaise	37

INTRODUCTION

Le ligament croisé antérieur (LCA) est un des principaux stabilisateurs de l'articulation du genou. Les atteintes de ce ligament sont fréquentes avec une incidence de 8,1/100 000 par an (1). L'instabilité ligamentaire peut conduire à un handicap significatif du patient et est un facteur reconnu dans le développement des lésions dégénératives articulaires (2). Les ruptures du LCA comportent également une prévalence élevée de lésions associées pouvant entraîner des difficultés dans le diagnostic clinique. Le diagnostic de cette lésion est donc extrêmement important.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est la méthode de référence pour l'évaluation non invasive du LCA. Bien que la sensibilité et la spécificité rapportées soient très élevées (3, 4), l'évaluation du LCA en pratique quotidienne reste, dans une large mesure, subjective et dépendante des compétences du lecteur (5, 6). L'évaluation du LCA représente un défi diagnostique affronté par les radiologues de tout niveau de compétences et peut être problématique, y compris pour les plus expérimentés.

Beaucoup d'articles sur une multitude de signes IRM et de mesures pour le diagnostic de rupture du LCA ont été publiés (7-11), mais en fait très peu d'études présentent des concordances inter-observateur et des valeurs de reproductibilité pour ces signes si « classiques ». Aucune de ces méthodes n'est largement acceptée, pour un certain nombre de raisons dont les plus importantes sont : mesures trop élaborées et peu pratiques, subjectivité ou manque de reproductibilité.

Il est également important de considérer les causes des images pièges dans l'évaluation du LCA qui peuvent résulter du volume partiel, des ruptures partielles et de la synovialisation du ligament (6, 12-18). Dans ces situations, la non-visualisation du ligament dans son ensemble sur une seule coupe ou une orientation ligamentaire partiellement maintenue agissent comme des facteurs confondants.

Les ruptures en plein corps du ligament sont les plus fréquentes dans la population adulte (19). Dans ce type de lésion, les fibres de la moitié proximale du ligament sont discontinues et mal individualisables à l'IRM. Au stade aigu les modifications inflammatoires et hémorragiques péri ligamentaires et au stade chronique le tissu cicatriciel et la réabsorption des fibres (20) rendent l'évaluation de la portion proximale du LCA difficile. La moitié distale du ligament reste, cependant, bien visualisée dans la majorité des cas. Les altérations en

imagerie de la portion distale du LCA ont été décrites dans la littérature dans le cadre des ruptures en battant de cloche (21) mais non comme marqueur de l'intégrité du ligament.

Une classification diagnostique systématique en IRM des ruptures du LCA basée sur l'aspect de la portion distale du ligament est proposée. Les sensibilité, spécificité et concordance inter observateur de la nouvelle méthode ont été calculées et comparées avec celles de 10 des signes les plus fréquemment utilisés de rupture du LCA décrits dans la littérature. L'impact de la qualité d'image et des compétences du lecteur sur la classification proposée et sur les signes classiques de rupture du LCA ont également été considérés.

MATERIEL ET METHODE

Patients :

Une IRM a été réalisée chez 131 patients (dont un patient avec une IRM des deux genoux) entre janvier 2003 et septembre 2009. Aucun de ces patients n'avait eu de chirurgie du LCA et tous ont subi une arthroscopie dans les quatre mois suivant l'IRM. Les patients avec un délai plus long ou un nouvel épisode traumatique entre l'IRM et l'intervention chirurgicale ont été exclus. Ceux qui n'ont pas été adressés directement par les chirurgiens de notre établissement ou travaillant régulièrement avec nous ont été exclus du fait des difficultés dans le suivi des patients et pour garantir une technique chirurgicale plus homogène. Trois examens présentant des problèmes techniques significatifs dus soit à un défaut de positionnement soit à d'importants défauts de saturation de la graisse étaient exclus de l'étude. Les IRM avec des défauts de positionnement mineurs, des artéfacts cinétiques dus au patient et des artéfacts métalliques n'étaient pas exclus afin de reproduire la réalité de la pratique radiologique.

Par l'analyse des comptes-rendus opératoires, les LCA ont été classifiés en : normal (ligament intact) et anormal (rupture complète, partielle et synovialisation).

Technique :

Les examens ont été réalisés sur deux appareils différents. De 2003 à 2007, une IRM 1.5T GE Healthcare Signa Twin Speed 11M4 a été utilisée et de 2007 à 2009 une IRM 1.5T GE Healthcare, Waukesha, WI, Signa HDx. Une antenne genou dédiée a été utilisée dans tous les examens. Les patients étaient positionnés avec le genou en extension complète ou quasi-complète et le protocole incluait des séquences dans les plans axial, coronal (parallèle à la ligne bicondylienne) et sagittal oblique. Le plan sagittal oblique était défini comme un plan perpendiculaire à la facette latérale de la trochlée, pour essayer de reproduire systématiquement l'obliquité du LCA. Entre 2003 et 2007, le protocole incluait des images en SE pondérées T1 (TE min, TR 300, matrice 256 x 192, nex 2, FOV 16cm², ETL 6, bande passante 15,6kHz, espacement 2mm, épaisseur de coupe 5mm) dans le plan axial et des images en FSE pondérées T2 avec saturation du signal de la graisse (TE 45, TR 2800, matrice 256 x 192, nex 2, FOV 20 cm², ETL 6, bande passante 15kHz, espacement 0.4mm, épaisseur de coupe 4mm) dans les plans axial, coronal et sagittal oblique. Entre 2007 et 2009, le protocole incluait des images en FSE pondérées T1 (TE min, TR 500, matrice 352 x 288, nex

1, FOV 16cm², ETL 4, bande passante 41kHz, espacement 1mm, épaisseur de coupe 4mm) dans le plan axial et des images en FSE pondérées T2 avec saturation du signal de la graisse (TE 42, TR 4220, matrice 320 x 288, nex 3, FOV 16cm², ETL 16, bande passante 41kHz, espacement 0.5mm, épaisseur de coupe 3.5mm) dans les plans axial, coronal et sagittal oblique. Les examens réalisés entre 2003 et 2007 étaient considérés comme ayant une moins bonne qualité d'image que les examens ultérieurs. Deux groupes d'étude étaient donc constitués (haute qualité et basse qualité).

Lecteurs :

Les images étaient évaluées indépendamment par un radiologue et deux internes de radiologie. Le radiologue avait deux ans d'expérience en imagerie ostéoarticulaire (lecteur 1). Parmi les deux internes, un était en 5^{ème} année d'internat avec six mois d'expérience en imagerie ostéoarticulaire (lecteur 2) et l'autre était en 1^{ère} année d'internat et n'avait pas d'expérience en imagerie ostéoarticulaire (lecteur 3). Les lecteurs ne disposaient pas des informations cliniques et des résultats arthroscopiques.

Toutes les informations provenaient de la base de données numérique Xplore (EDL, La-Seyne-sur-Mer, Fr) et les images étaient interprétées en deux sessions en utilisant une station PACS (Impax V5, AGFA HealthCare, Ivry-sur-Seine, Fr).

Critères analysés :

Durant la première session, la classification proposée du LCA était appliquée et seules les images dans le plan sagittal oblique étaient visualisées par les lecteurs. La deuxième session a eu lieu avec un minimum de trois semaines d'écart par rapport à la première et le LCA était évalué en utilisant 10 signes de ruptures du LCA décrits dans la littérature (7-11, 22) : quatre signes directs (discontinuité du ligament, anomalie de signal intraligamentaire, perte du parallélisme par rapport à la ligne de Blumensaat et absence du ligament) et six signes indirects (verticalisation du ligament croisé postérieur (LCP), translation tibiale antérieure, découverte de la corne postérieure du ménisque latéral, œdème osseux du compartiment fémorotibial latéral, encoche profonde du condyle latéral et lésion du ligament collatéral médial). La translation tibiale antérieure était définie par une distance supérieure à 5mm entre la portion postérieure du condyle fémoral latéral et du plateau tibial en regard. La verticalisation du LCP était évaluée en construisant une ligne tangente à la face postérieure de la portion distale du ligament se poursuivant jusqu'à la corticale fémorale. Le signe était

positif si la ligne coupait la corticale fémorale postérieure à plus de 5cm de son extrémité distale. Enfin, l'encoche du condyle latéral était considérée comme profonde si sa profondeur était supérieure à 1.5mm (7-11, 22).

La classification proposée est basée sur la position du bord antérieur de la moitié distale du LCA par rapport à une ligne formant un angle de 45° par rapport au grand axe du tibia. Cette classification utilise donc une seule coupe sagittale oblique qui est sélectionnée de cette manière : les images sagittales sont regardées du compartiment latéral vers le médial jusqu'à la première image montrant une portion de l'insertion tibiale du LCA. Puis la coupe suivante qui montre la portion la plus médiale du LCA est sélectionnée. Si l'insertion tibiale du LCA est visible sur une seule coupe sur les examens de moins bonne qualité, cette coupe est sélectionnée pour l'analyse.

Après la sélection de la coupe, une ligne dans le grand axe du tibia parallèle à la corticale postérieure est tracée passant par l'intersection entre le bord antérieur de l'insertion tibiale du LCA et la corticale osseuse. Ensuite, une seconde ligne formant un angle de 45° par rapport à la première passant par le même point est tracée (Fig. 1). Cinq catégories sont définies en prenant en compte la position du bord antérieur de l'insertion tibiale du ligament par rapport à la deuxième ligne.

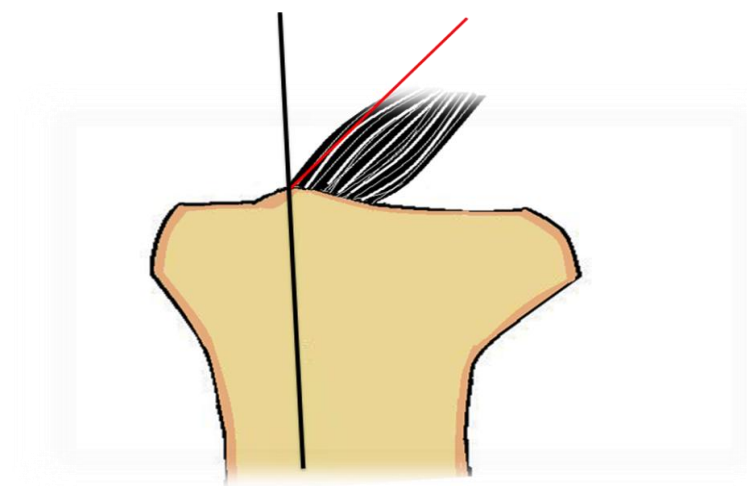
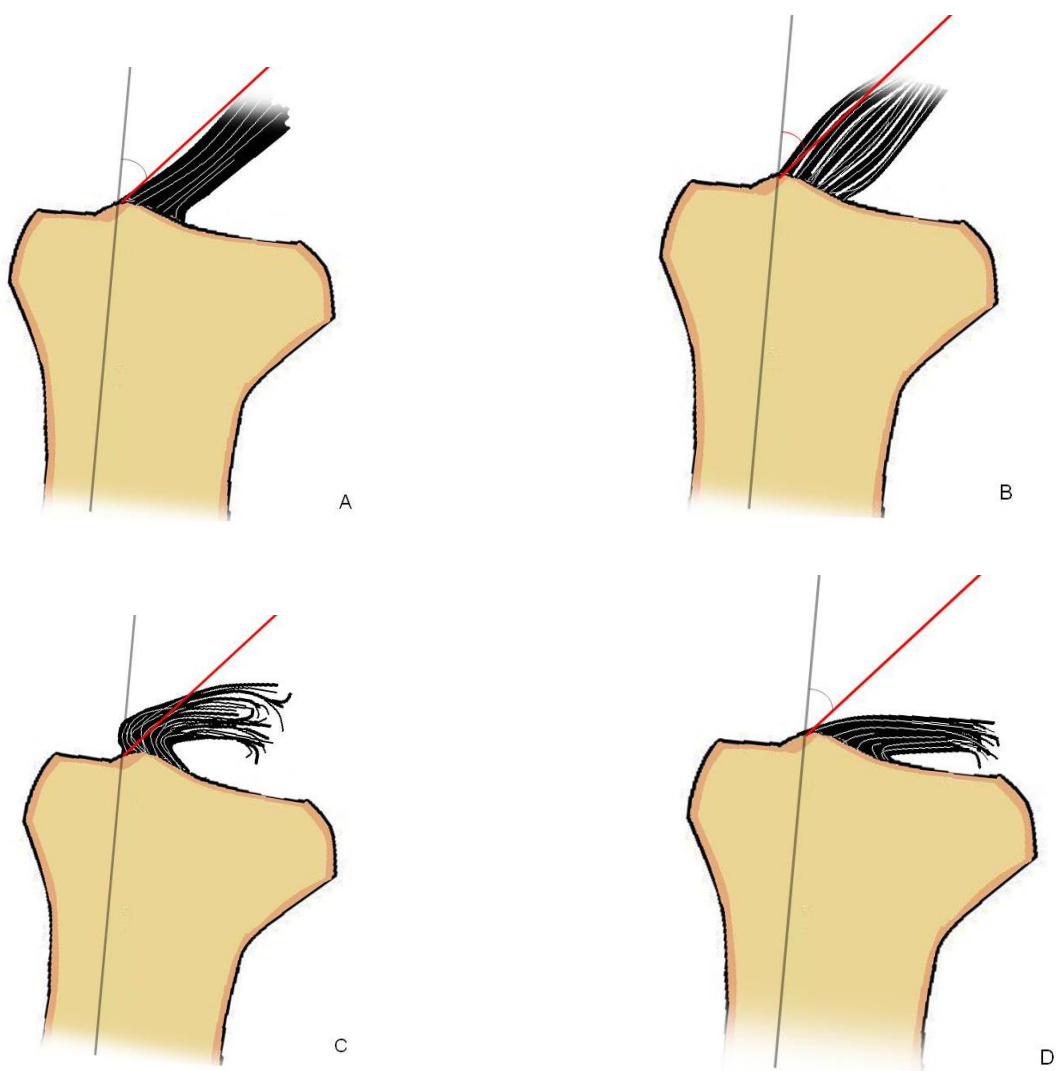
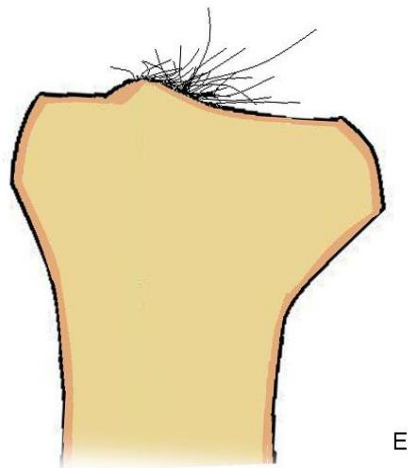


Fig.1 : Schéma illustrant la construction des axes après la sélection de la coupe : la ligne noire correspond à l'axe du tibia et la ligne rouge à l'axe à 45° passant par l'intersection entre le bord antérieur du LCA et la corticale osseuse.

Dans le type I, le bord antérieur est concave vers l'avant et toutes les fibres restent en arrière de la ligne. Dans le type II, le bord antérieur du LCA touche voire même franchit la ligne mais reste parallèle à la ligne. Dans le type III, les fibres distales bombent au-delà de la ligne et la

distance augmente d'avant en arrière entre la ligne et le LCA (horizontalisation). Le type IV est similaire au type III mais les fibres ligamentaires restent en arrière de la ligne. Enfin, le type V est caractérisé par la non visualisation de la portion antérieure de l'insertion tibiale du LCA (Fig. 2).





E

Fig. 2 : Schémas illustrant chaque type de LCA. (A) Type I: les fibres du LCA ne franchissent pas la ligne rouge et le bord antérieur du ligament est concave vers l'avant en gardant une orientation parallèle à la ligne. (B) Type II: le bord antérieur du LCA est rectiligne ou convexe et touche ou dépasse la ligne rouge mais garde son orientation parallèle à la ligne. (C) Type III: les fibres distales passent en avant de la ligne et son orientation n'est plus parallèle. (D) Type IV: le ligament est horizontalisé et toutes ses fibres restent en arrière de la ligne. (E) Type V: le ligament est difficile à visualiser et l'intersection entre les fibres les plus antérieures du LCA et la corticale ne peut être identifiée, la construction n'est pas réalisée.

Les figures 3 à 7 illustrent le placement des lignes et chaque type de la classification sur des images IRM.



Fig.3 : Type I. Images sagittales T2 avec saturation du signal de la graisse d'une patiente de 16 ans avec LCA normal en arthroscopie. Aspect concave du bord antérieur du LCA.

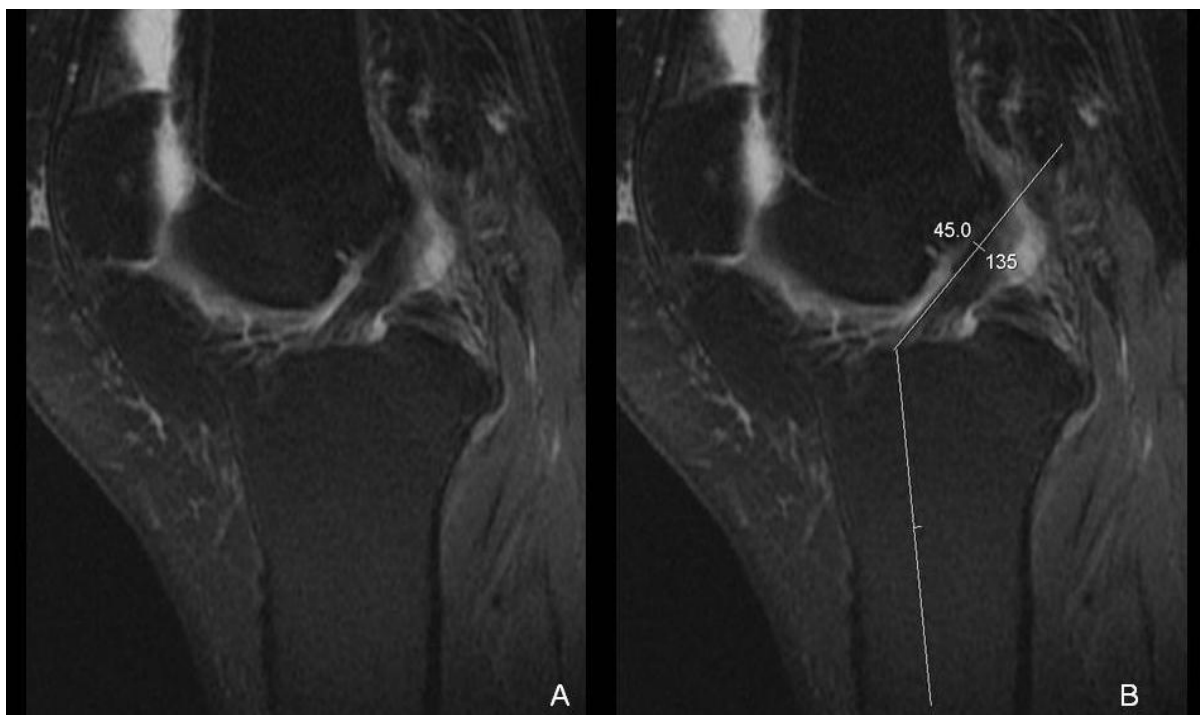


Fig.4: Type II. Images sagittales T2 avec saturation du signal de la graisse d'une patiente de 76 ans avec un LCA normal en arthroscopie. Aspect rectiligne du bord antérieur.

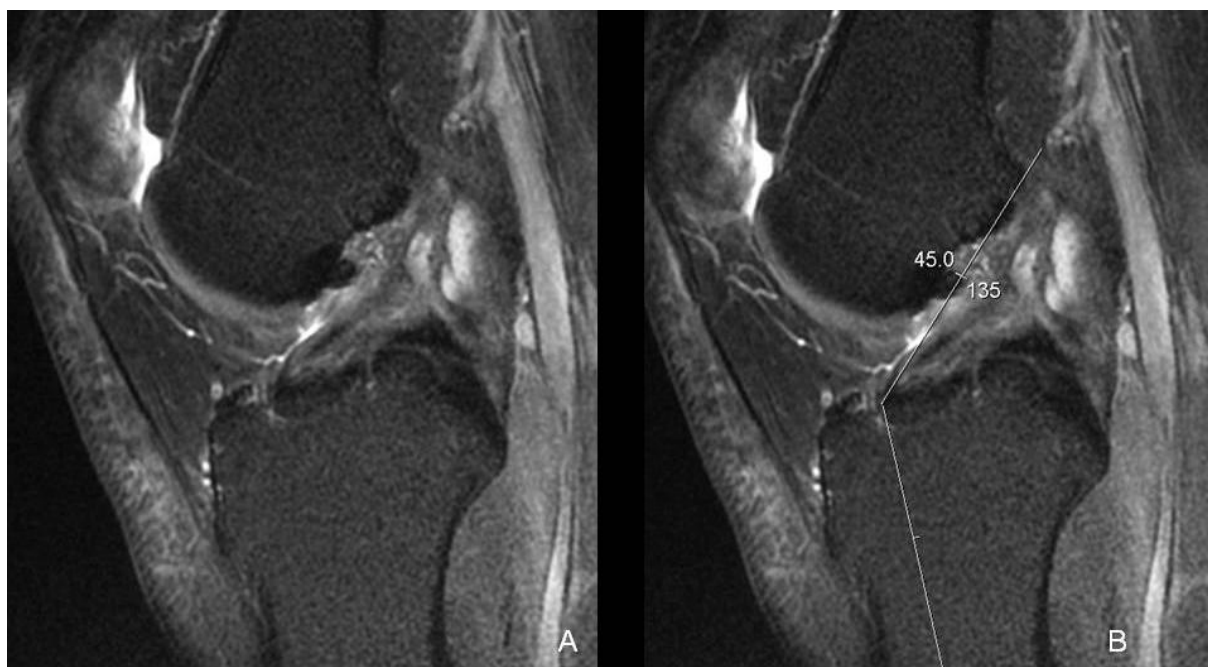


Fig.5: Type III. Images sagittales T2 avec saturation du signal de la graisse d'un patient de 38 ans avec un LCA rompu en arthroscopie. Les fibres distales passent en avant de la ligne avec une perte de parallélisme par rapport à la ligne dans sa portion plus proximale

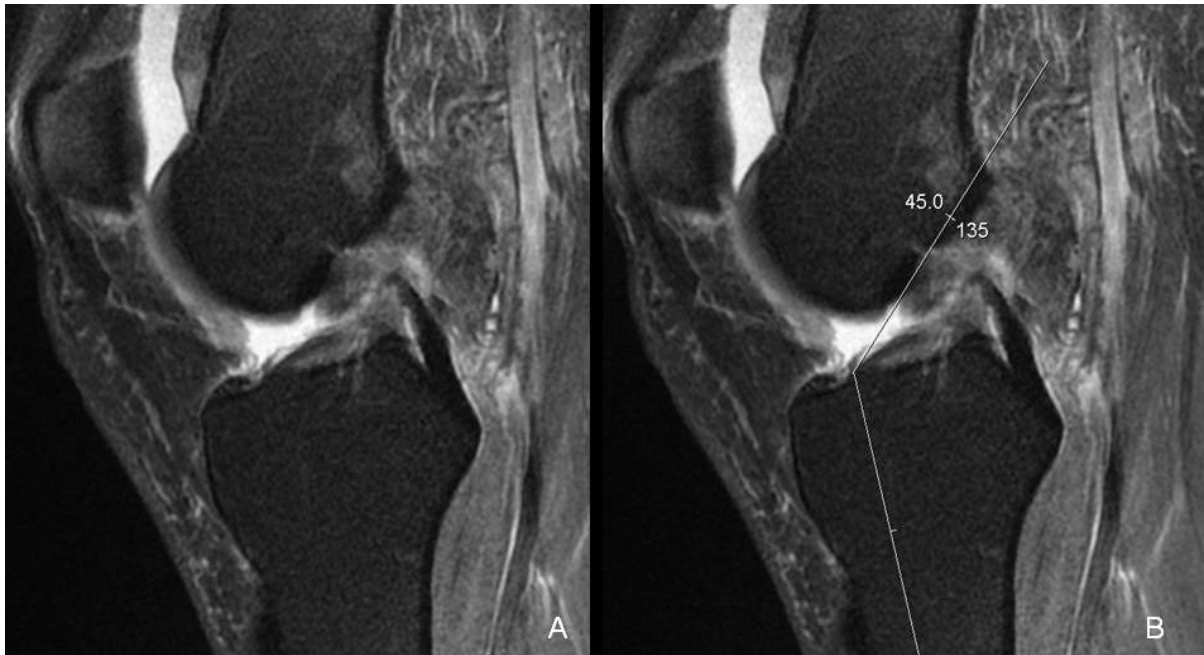


Fig.6 : Type IV. Images sagittales T2 avec saturation du signal de la graisse d'une patiente de 36 ans avec un LCA rompu en arthroscopie. Le LCA est horizontalisé et toutes ses fibres restent en arrière de la ligne.

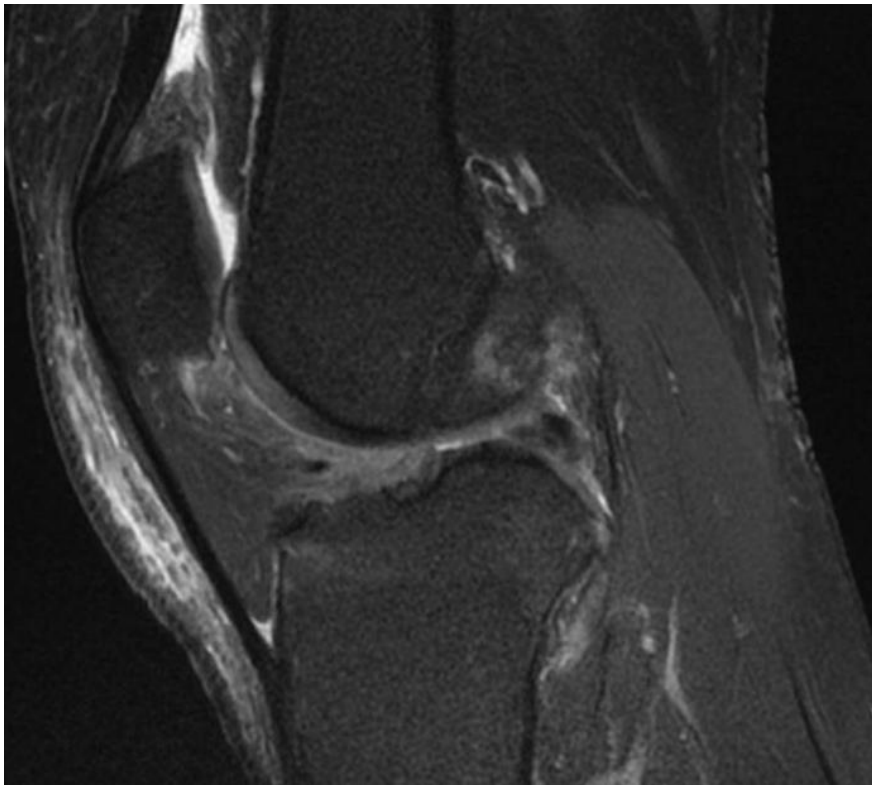


Fig.7 : Type V. Images sagittales T2 avec saturation du signal de la graisse d'un patient de 50 ans avec un LCA rompu en arthroscopie. L'insertion antérieure tibiale du LCA ne peut pas être identifiée, les fibres ligamentaires ne sont pas distinguées.

Les types I et II sont considérés comme normaux (ligament intact) et les types III, IV et V comme anormaux (ruptures complètes, partielles et synovialisations).

Analyse statistique

L'analyse statistique était faite en utilisant le logiciel SAS® 9.1 et l'arthroscopie comme gold standard. L'analyse statistique, l'interprétation et la présentation des résultats ont été réalisées avec l'aide de Madame Marie-Line Erpelding (MSc) du Service d'Epidémiologie et Evaluation Cliniques du CHU de Nancy. Les caractéristiques sociodémographiques ont été comparées selon la présence ou l'absence d'une rupture du LCA à partir des tests du Chi-2 et de Wilcoxon. Les sensibilité et spécificité du système de classification pour la distinction entre LCA normal et anormal étaient calculées pour chaque lecteur, et globalement après réalisation d'une lecture consensuelle entre les lecteurs sur les cas discordants. Les sensibilité et spécificité individuelles étaient également calculées pour chaque signe classique ainsi que pour la distinction LCA normal et anormal basée sur ces signes. Les sensibilité et spécificité ont été comparées selon la méthode de classification de rupture du LCA (nouvelle méthode vs méthode à partir des signes classiques) pour chaque lecteur au moyen du test de Mac Nemar. Les pourcentages de ruptures partielles et de cicatrices en nourrice du LCA identifié comme anormal à l'aide de la nouvelle classification et des signes classiques étaient également calculés. Une comparaison de ces pourcentages selon la méthode de classification de rupture du LCA a été réalisée à partir du test de Mac Nemar. La concordance interobservateur a été évaluée à partir du coefficient de Kappa multi-juges pour le nouveau système de classification et pour celui établi à partir des signes classiques ainsi que pour chaque type de classification de la nouvelle méthode de classification et pour chaque signe classique. Les concordances interobservateur ont été comparées selon la méthode de classification au moyen d'un test de comparaison de 2 coefficients de Kappa (23). La même analyse statistique (sensibilité, spécificité et concordance interobservateur) était faite par sous-groupe afin de comparer les performances de la classification et des signes classiques dans les deux protocoles différents précédemment décrits (2003-2007 contre 2007-2009). Le seuil de significativité a été fixé à 0,05.

RESULTATS

L'échantillon était constitué de 96 hommes et 35 femmes (ratio H/F : 2,74) ; l'âge moyen était de 36 ans. A l'arthroscopie, 39 (23,7%) LCA étaient classés comme normaux et 93 (76,2%) comme anormaux. Les patients avec un LCA normal étaient en moyenne plus âgés que les patients avec un LCA anormal (44,7 vs 32,6, $p < 0,0001$). La proportion d'hommes était plus importante chez les patients avec un LCA anormal (77,4% vs 61,5%) mais non significative au seuil $\alpha = 0,05$ ($p = 0,06$). Parmi les LCA anormaux à l'arthroscopie, 63 (67,7%) étaient des ruptures complètes, 9 (9,7%) des ruptures partielles et 21 (22,6%) des synovialisations.

Les sensibilité et spécificité de la nouvelle méthode de classification proposée pour la distinction entre LCA normal et anormal étaient respectivement pour chaque lecteur: 90%/78% pour le lecteur 1, 89%/81% pour le lecteur 2 et 88%/82% pour le lecteur 3. Il n'y avait pas de différence significative entre les lecteurs. Les sensibilité et spécificité de la classification à partir des signes classiques de rupture étaient respectivement pour chaque lecteur: 78%/92% pour le lecteur 1, 82%/86% pour le lecteur 2 et 81%/84% pour le lecteur 3. Il n'y avait pas de différence significative pour les signes classiques entre les lecteurs. La classification proposée possédait une sensibilité plus élevée pour l'ensemble des lecteurs par rapport aux signes classiques et de façon significative pour le lecteur 1 ($p = 0,0023$) ($p = 0,08$ pour les lecteurs 2 et 3) ; et une spécificité plus basse pour les trois lecteurs ne différant pas significativement de la méthode de classification à partir des signes directs ($p = 0,06$ pour le lecteur 1, 0,5 pour le lecteur 2 et 1 pour le lecteur 3). Après une lecture consensuelle des neuf cas discordants, la sensibilité et la spécificité globales de la nouvelle méthode de classification s'élevaient respectivement à 91,1% [85,2-97] et 82,9% [70,4-95,2] avec 88,8% des LCA bien classés. La concordance interobservateur était également bonne (Kappa=0,61 [0,55-0,67]) pour les cinq types de la classification.

Le tableau 1 montre les valeurs de sensibilité, spécificité et de concordance interobservateur pour chaque signe classique évalué.

	Discontinuité	Anomalie de signal	Perte de parallélisme	Absence	Verticalisation du LCP	Translation tibiale antérieure	Découverte de la corne postérieure du ménisque latéral	Gdème osseux	Encoche	Lésion LCM
Concordance	0,72	0,59	0,73	-0,02	0,43	0,67	0,63	0,75	0,38	0,39
Sensibilité	74,4%	55,6%	71,1%	2,2%	36,7 %	55 ,6%	40%	57,8 %	18,9 %	2,8 %
Spécificité	94,4%	77,8%	91,7%	100%	88,9 %	88,9%	88,9%	86,1 %	91,7 %	97,2 %

Tableau 1 : Valeur de sensibilité, spécificité et de concordance pour les signes classiques

La concordance interobservateur était plus élevée de manière significative pour la nouvelle classification. Elle était excellente ($K=0,89$ [0,79-0,99]) entre les trois lecteurs pour la distinction entre LCA normal et anormal pour la nouvelle méthode de classification et bonne ($K=0,76$ [0,66-0,86]) pour les signes classiques ($p<0,0001$). La concordance interobservateur pour la nouvelle méthode de classification n'était pas influencée par la qualité d'image ($K=0,89$ dans les deux cas) alors qu'il y avait une perte de reproductibilité significative pour les signes classiques sur les examens de moins bonne qualité ($K= 0,71$ [0,57-0,85]) par rapport aux examens de haute qualité ($K=0,82$ [0,68-0,96]).

Les performances de la méthode de classification proposée dans l'identification des ruptures partielles et des ruptures en nourrice comme LCA anormal étaient plus élevées que celles des signes classiques mais la différence n'était pas significative. En utilisant la nouvelle méthode, 67 à 75% des ruptures partielles étaient détectées contre 50 à 67% pour les signes classiques parmi les trois lecteurs ($p=0,5$). De même, 80 à 85% des ruptures en nourrice étaient détectées par la nouvelle méthode contre 55 à 62% pour les signes classiques(p variant de 0,06 à 0,13 en fonction du lecteur). Le taux de détection globale de la classification après consensus était de 87% pour les ruptures partielles et de 80% pour les ruptures en nourrice. Il n'y avait pas de type préférentiel de la classification pour les ruptures partielles et les ruptures en nourrice (Tableau 2).

		Arthroscopie			
		Normal	Partielle	Nourrice	Complète
IRM	Type 1	13	0	2	2
	Type 2	16	2	1	3
	Type 3	2	3	6	13
	Type 4	1	0	4	16
	Type 5	4	4	8	28

Tableau 2 : Résultats IRM en fonction des résultats arthroscopiques.

Dans quatre cas, le LCA était identifié comme normal à l'arthroscopie mais les trois lecteurs en utilisant la nouvelle classification et les signes classiques le considéraient comme anormal. Le temps nécessaire pour appliquer la méthode de classification est significativement plus court que le temps nécessaire pour évaluer les 10 signes classiques de rupture. Quand la technique est maîtrisée, avec le système PACS dont nous disposons, le temps nécessaire pour appliquer la classification est d'environ le tiers de celui nécessaire pour les signes classiques. L'évaluation complète incluant le choix de la coupe, le traçage des lignes, la construction géométrique et l'interprétation nécessite environ 40 secondes.

DISCUSSION

Le LCA est le principal stabilisateur de la translation tibiale antérieure, et a un rôle important dans le maintien de la stabilité rotatoire du genou. Quand le genou est en extension, le ligament présente une double obliquité. Il est incliné dans le plan sagittal d'environ 45° par rapport à l'axe du membre inférieur et présente une obliquité dans le plan frontal dans le sens latéro-médial. Il est composé de deux faisceaux fonctionnellement distincts. Le faisceau antéromédial (AM) est tendu en flexion et le faisceau postérolatéral (PL) en extension. La plupart des ruptures du LCA sont complètes et impliquent les deux faisceaux. Dans les ruptures partielles, le faisceau AM est le plus fréquemment atteint (24). Les ruptures isolées du faisceau PL sont rares et difficiles à identifier même en arthroscopie (20). Le bord antérieur du LCA dans le plan sagittal oblique, en prenant en compte la méthode proposée, est formé par le faisceau AM qui est anormal dans la grande majorité des ruptures identifiées à l'arthroscopie (25, 26).

Une angulation de 10 à 20 degrés du plan sagittal a été décrite comme optimale pour la visualisation du LCA (27). Les plans obliques augmentent la spécificité de l'évaluation en IRM du LCA, montrant la majorité des fibres en une seule coupe et réduisant le volume partiel (12). Un plan sagittal oblique, perpendiculaire à la facette latérale de la trochlée, qui est le standard pour tous les genoux évalués dans notre institution, a servi de base pour l'application de notre classification.

L'évaluation de l'angle du LCA dans le plan sagittal a été décrit pour détecter les ruptures ligamentaires (10, 28). Il est rapporté comme étant plus sensible et plus spécifique que les autres signes classiques pour la détection des ruptures (10). La comparaison de l'orientation sagittale du LCA avec la ligne de Blumensaat est un indicateur fiable du statut ligamentaire. Cette analyse reste cependant subjective du fait des variations physiologiques dans l'obliquité du toit de l'échancrure et parce que de petits changements positionnels ont une influence significative sur les relations ligamento-osseuses. De plus, les méthodes présentées pour quantifier cet angle paraissent peu pratiques et chronophages puisqu'elles impliquent des superpositions et des sommations d'images (10, 28). La méthode présentée est systématique, a une excellente reproductibilité ($k=0,89$) et est plus rapide que l'évaluation des signes classiques.

Le seul essai de classification en IRM du LCA était entrepris par Barry et al (29). Ces auteurs ont rapporté une sensibilité et une spécificité élevées (93 et 89%) pour la détection des ruptures ligamentaires avec cette classification. Cependant, leurs critères étaient un peu subjectifs et aucune donnée de concordance n'était fournie.

Si une évaluation systématique est entreprise, utilisant soit les signes classiques décrits dans la littérature soit la nouvelle classification, il n'y a pas d'influence de l'expérience du lecteur sur la sensibilité et la spécificité de l'IRM pour la détection des ruptures du LCA. En considérant une évaluation globale (normal contre anormal), notre classification a une sensibilité plus élevée et une spécificité plus basse en comparaison avec les signes classiques (sensibilité de 88 à 90% contre 78 à 82% et spécificité de 78 à 82% contre 84 à 92% pour la classification et les signes classiques respectivement) mais de manière non significative (p de 0,0023 à 0,08 pour la sensibilité et de 0,06 à 1 pour la spécificité en fonction du lecteur).

Les examens de haute et basse qualité étaient réalisés sur des hauts champs. Les paramètres (FOV, épaisseur de coupe et matrice) utilisés dans les examens de basse qualité sont comparables avec ceux trouvés dans les IRM à champ ouvert (30, 31). La concordance inter observateur est élevée dans les examens de haute et basse qualité pour tous les niveaux d'expérience avec cette classification. Il y avait par contre une diminution significative de la reproductibilité pour les signes classiques dans les examens de basse qualité. Ceci soutient l'hypothèse que la classification est également applicable pour les IRM de bas champ.

Malgré l'absence de différence significative, la méthode de classification détecte plus de ruptures partielles et ruptures en nourrice que les signes classiques. Le faible effectif de ces types de ruptures (9 ruptures partielles et 21 ruptures cicatrisées en nourrice) rend difficile la confirmation de la supériorité de notre classification dans cette indication. Des analyses supplémentaires avec un nombre plus important de patients aideraient à déterminer l'utilité de la classification dans cette indication. Les ruptures partielles et les synovialisations du LCA représentent des images pièges connues en IRM. Les ruptures partielles représentent environ 10% des ruptures du LCA et ces patients sont pris en charge de manière différente de ceux présentant une rupture complète (13). Les synovialisations du LCA sont rapportées comme survenant dans 23% des cas et pouvant simuler un ligament intact. Le diagnostic exact de ces cas a des implications évidentes dans la prise en charge des patients (18, 24).

Bien que les champs plus élevés soient censés avoir peu d'influence sur l'évaluation en IRM des lésions musculo-squelettiques, il y a tout de même des avantages à utiliser ce type d'équipement (6). Avec l'utilisation des IRM 3T, l'acquisition d'images volumiques 3D de

haute résolution en spin echo est possible. Ces séquences ont les mêmes sensibilité et spécificité que les séquences conventionnelles pour la détection des ruptures (32). Cependant, par rapport aux séquences conventionnelles, il existe des avantages importants comme la faisabilité des reformations et des reconstructions dans un plan idéal pour l'évaluation du LCA. Nous supposons qu'avec l'utilisation de reconstructions 3D, l'exactitude et la reproductibilité de la classification pourraient augmenter.

Cette étude a de nombreuses limites. Du fait de son caractère rétrospectif, aucune systématisation des examens arthroscopiques n'était possible. Notre population avait un biais de sélection. Il y a une tendance à réaliser une arthroscopie chez les patients avec une lésion du genou plus importante ce qui explique notre relatif petit groupe contrôle. Bien que le délai (4 mois) entre l'IRM et l'arthroscopie soit cliniquement acceptable, il est relativement long pour une étude scientifique. Ceci a pu jouer un rôle sur quelques disparités entre l'arthroscopie et les données de l'IRM en particulier pour les synovialisations. Du fait de la rareté et des difficultés diagnostiques des ruptures partielles, le nombre de patients présentant cette lésion est faible (9 cas). Malgré un taux de détection élevé des ruptures partielles, des études supplémentaires sont nécessaires pour établir la valeur de notre classification dans cette indication.

CONCLUSION

Ces résultats indiquent qu'une approche systématique de l'évaluation du LCA a une haute précision pour la détection des ruptures ligamentaires et n'est pas influencée par l'expérience du lecteur. La classification proposée est globalement plus reproductible, a une meilleure sensibilité et son application est considérablement moins chronophage que les signes classiques. De plus, elle détecte environ 75% des ruptures partielles et des ruptures en nourrice. Il pourrait donc y avoir un rôle potentiel pour cette classification comme méthode de dépistage des anomalies du LCA, en particulier quand l'IRM est interprétée par des médecins avec une expérience limitée en imagerie ostéo-articulaire ou dans les lésions aiguës.

BIBLIOGRAPHIE

1. Clayton RA, Court-Brown CM. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. *Injury*. 2008 Dec;39(12):1338-44.
2. Tandogan RN, Taser O, Kayaalp A, Taskiran E, Pinar H, Alparslan B, et al. Analysis of meniscal and chondral lesions accompanying anterior cruciate ligament tears: relationship with age, time from injury, and level of sport. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004 Jul;12(4):262-70.
3. Rayan F, Bhonsle S, Shukla DD. Clinical, MRI, and arthroscopic correlation in meniscal and anterior cruciate ligament injuries. *International orthopaedics*. 2009 Feb;33(1):129-32.
4. Kocabey Y, Tetik O, Isbell WM, Atay OA, Johnson DL. The value of clinical examination versus magnetic resonance imaging in the diagnosis of meniscal tears and anterior cruciate ligament rupture. *Arthroscopy*. 2004 Sep;20(7):696-700.
5. Kim A, Khoury L, Schweitzer M, Jazrawi L, Ishak C, Meislin R, et al. Effect of specialty and experience on the interpretation of knee MRI scans. *Bulletin of the NYU hospital for joint diseases*. 2008;66(4):272-5.
6. Krampla W, Roesel M, Svoboda K, Nachbagauer A, Gschwantler M, Hruby W. MRI of the knee: how do field strength and radiologist's experience influence diagnostic accuracy and interobserver correlation in assessing chondral and meniscal lesions and the integrity of the anterior cruciate ligament? *European radiology*. 2009 Jun;19(6):1519-28.
7. Robertson PL, Schweitzer ME, Bartolozzi AR, Ugoni A. Anterior cruciate ligament tears: evaluation of multiple signs with MR imaging. *Radiology*. 1994 Dec;193(3):829-34.
8. Brandser EA, Riley MA, Berbaum KS, el-Khoury GY, Bennett DL. MR imaging of anterior cruciate ligament injury: independent value of primary and secondary signs. *Ajr*. 1996 Jul;167(1):121-6.
9. Tung GA, Davis LM, Wiggins ME, Fadale PD. Tears of the anterior cruciate ligament: primary and secondary signs at MR imaging. *Radiology*. 1993 Sep;188(3):661-7.
10. Mellado JM, Calmet J, Olona M, Gine J, Sauri A. Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament tears: reevaluation of quantitative parameters and imaging findings including a simplified method for measuring the anterior cruciate ligament angle. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004 May;12(3):217-24.
11. McCauley TR, Moses M, Kier R, Lynch JK, Barton JW, Jokl P. MR diagnosis of tears of anterior cruciate ligament of the knee: importance of ancillary findings. *Ajr*. 1994 Jan;162(1):115-9.
12. Kwon JW, Yoon YC, Kim YN, Ahn JH, Choe BK. Which oblique plane is more helpful in diagnosing an anterior cruciate ligament tear? *Clinical radiology*. 2009 Mar;64(3):291-7.
13. Petersen W, Zantop T. Partial rupture of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2006 Nov;22(11):1143-5.
14. Katahira K, Yamashita Y, Takahashi M, Otsuka N, Koga Y, Fukumoto T, et al. MR imaging of the anterior cruciate ligament: value of thin slice direct oblique coronal technique. *Radiation medicine*. 2001 Jan-Feb;19(1):1-7.
15. Lawrance JA, Ostlere SJ, Dodd CA. MRI diagnosis of partial tears of the anterior cruciate ligament. *Injury*. 1996 Apr;27(3):153-5.
16. Chen WT, Shih TT, Tu HY, Chen RC, Shau WY. Partial and complete tear of the anterior cruciate ligament. *Acta Radiol*. 2002 Sep;43(5):511-6.

17. Roychowdhury S, Fitzgerald SW, Sonin AH, Peduto AJ, Miller FH, Hoff FL. Using MR imaging to diagnose partial tears of the anterior cruciate ligament: value of axial images. *Ajr*. 1997 Jun;168(6):1487-91.
18. Higuera Guerrero V, Torregrosa Andres A, Marti-Bonmati L, Casillas C, Sanfeliu M. Synovialisation of the torn anterior cruciate ligament of the knee: comparison between magnetic resonance and arthroscopy. *European radiology*. 1999;9(9):1796-9.
19. Roberts CC, Towers JD, Spangehl MJ, Carrino JA, Morrison WB. Advanced MR imaging of the cruciate ligaments. *Magnetic resonance imaging clinics of North America*. 2007 Feb;15(1):73-86.
20. Sonnery-Cottet B, Barth J, Graveleau N, Fournier Y, Hager JP, Chambat P. Arthroscopic identification of isolated tear of the posterolateral bundle of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2009 Jul;25(7):728-32.
21. Huang GS, Lee CH, Chan WP, Lee HS, Chen CY, Yu JS. Acute anterior cruciate ligament stump entrapment in anterior cruciate ligament tears: MR imaging appearance. *Radiology*. 2002 Nov;225(2):537-40.
22. Cobby MJ, Schweitzer ME, Resnick D. The deep lateral femoral notch: an indirect sign of a torn anterior cruciate ligament. *Radiology*. 1992 Sep;184(3):855-8.
23. Blum A, Feldmann L, Bresler F, Jouanny P, Briancon S, Regent D. [Value of calculation of the kappa coefficient in the evaluation of an imaging method]. *Journal de radiologie*. 1995 Jul;76(7):441-3.
24. Panisset JC, Duraffour H, Vasconcelos W, Colombet P, Javois C, Potel JF, et al. [Clinical, radiological and arthroscopic analysis of the ACL tear. A prospective study of 418 cases]. *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur*. 2008 Dec;94(8 Suppl):362-8.
25. Poellinger A, Scheffler S, Hamm B, Asbach P. Magnetic resonance imaging of double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Skeletal radiology*. 2009 Apr;38(4):309-15.
26. Remer EM, Fitzgerald SW, Friedman H, Rogers LF, Hendrix RW, Schafer MF. Anterior cruciate ligament injury: MR imaging diagnosis and patterns of injury. *Radiographics*. 1992 Sep;12(5):901-15.
27. Buckwalter KA, Pennes DR. Anterior cruciate ligament: oblique sagittal MR imaging. *Radiology*. 1990 Apr;175(1):276-7.
28. Murao H, Morishita S, Nakajima M, Abe M. Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament (ACL) tears: diagnostic value of ACL-tibial plateau angle. *J Orthop Sci*. 1998;3(1):10-7.
29. Barry KP, Mesgarzadeh M, Triolo J, Moyer R, Tehranzadeh J, Bonakdarpour A. Accuracy of MRI patterns in evaluating anterior cruciate ligament tears. *Skeletal radiology*. 1996 May;25(4):365-70.
30. Tavernier T, Cotten A. High- versus low-field MR imaging. *Radiologic clinics of North America*. 2005 Jul;43(4):673-81, viii.
31. Sanal HT, Cardoso F, Chen L, Chung C. Office-based versus high-field strength MRI: diagnostic and technical considerations. *Sports Med Arthrosc*. 2009 Mar;17(1):31-9.
32. Kijowski R, Davis KW, Woods MA, Lindstrom MJ, De Smet AA, Gold GE, et al. Knee joint: comprehensive assessment with 3D isotropic resolution fast spin-echo MR imaging--diagnostic performance compared with that of conventional MR imaging at 3.0 T. *Radiology*. 2009 Aug;252(2):486-95.

ANNEXE

Proposition of a systematic classification method for the MR imaging evaluation of anterior cruciate ligament ruptures with emphasis on its distal portion

INTRODUCTION

The anterior cruciate ligament (ACL) is one of the main stabilizers of the knee joint. Injuries to this ligament are frequent with a reported incidence of 8.1/100.000 per year (1). Ligament instability may lead to significant patient disability and is a recognized factor in the development of degenerative joint disease (2). ACL tears also carry a high prevalence of associated injuries, which may complicate the clinical diagnosis. Hence, the importance of the accurate diagnosis of this condition cannot be overstated.

Magnetic resonance (MR) imaging is the method of choice for the non invasive evaluation of the ACL. Although the reported sensitivity and specificity of MR imaging for the diagnosis of ACL tears are very high (3, 4), the evaluation of this ligament in the daily practice remains, to a large extent, subjective and dependent on the observer's skill (5, 6). ACL evaluation represents a diagnostic challenge faced by radiologists with all levels of expertise, and may be problematic even for the experienced ones.

Many papers on a multitude of MR signs and measurements for the diagnosis of ACL tears have been published (7-11), but very few studies actually present inter-observer agreement and reproducibility data for these so called "classic" signs. None of these methods is widely accepted, due to a number of reasons, most importantly: over elaborate and non practical measurements, subjectivity, lack of reproducibility.

It is also important to consider the causes of imaging pitfalls in ACL evaluation, which may arise from volume averaging, partial ligament ruptures and synovialisation of the ligament (6, 12-18). In these situations either the ligament is not visualized as a whole in a single slice or a partially maintained ligament orientation act as confounding factors.

Mid-substance tears are the most frequent type of ACL tear in the adult population (19). In this type of injury the fibers of proximal half of the ligament are discontinuous and not clearly identified at MR imaging. In the acute setting inflammatory and hemorrhagic peri-ligamentous changes and in the chronic state scarring and fiber reabsorption (20) render the evaluation of the proximal portion of the ACL difficult. The distal half of the ligament, however, remains well visualized in most cases. Alterations in the imaging aspect of the distal portion of the ACL have been described in the literature in the setting of entrapment of the anteriorly dislocated ligament stump (21), but not as a marker of ligament integrity.

The authors propose a systematic MR diagnostic classification for ACL tears based on the aspect of the distal portion of this ligament. The sensibility, specificity and inter-observer

agreement of the new method were calculated and compared with 10 of the most frequently used imaging signs of ACL rupture described in the literature. We also considered the impact that image quality and reader expertise have on the proposed classification and in the classic signs of ACL rupture.

MATERIAL AND METHODS

MRI was performed in 131 knees between January 2003 and September 2009. All these patients had no previous ACL surgery and had undergone arthroscopy within four months of the imaging evaluation. Patients with a longer delay or a new traumatic episode between MRI and surgical intervention were excluded. Patients not addressed directly by the orthopedic surgeons of our institution were excluded due to difficulties in patient follow up and to warrant a more homogeneous surgical technique. By the analysis of the surgical reports ACLs were categorized in: Normal (intact ligament) and abnormal (complete rupture, partial rupture and synovialization).

Imaging was performed in two different MR scanners. From 2003 to 2007 a 1.5T GE Healthcare Signa H was used and from 2007 to 2009 a 1.5T GE Healthcare, Waukesha, WI, Signa HDx was in use at our institution. A dedicated knee coil was used in all examinations. Patients were positioned with the knee in full or nearly full extension and our protocol included axial, coronal (parallel to the bicondylar line), and oblique sagittal. Oblique sagittal plane was defined as a plane perpendicular to the lateral troclear facette, in an attempt to systematically reproduce ACL obliquity. In the 2003-2007 period our protocol included SE T1 weighted images (TE min, TR 300, matrix 256 x 192, nex 2, FOV 16cm², bandwidth 15.6 kHz, gap 2mm, slice thickness 5mm) in the axial plane and FSE T2 weighted fat saturated images (TE 45, TR 2800, matrix 256 x 192, nex 2, FOV 20cm², ETL 6, bandwidth 15kHz, gap 0.4mm, slice thickness 4mm) in the coronal, axial and oblique sagittal plane. In the 2007-2009 period our protocol included FSE T1 weighted images (TE min, TR 500, matrix 352 x 288, nex 1, FOV 16cm², ETL 4, bandwidth 41 kHz, gap 1mm, slice thickness 4mm) in the axial plane and FSE T2 weighted fat saturated images (TE 42, TR 4220, matrix 320 x 288, nex 3, FOV 16 cm², ETL 16, bandwidth 41 kHz, gap 0.5mm, slice thickness 3.5mm) in the coronal, axial and oblique sagittal plane. The studies performed from 2003 to 2007 were considered to have a lower image quality when compared to those performed after this period. Hence, two groups of studies (high quality and low quality) were formed.

Three exams with significant technical problems due to either positional issues or important artifacts in fat saturation were excluded from the study. Studies with minor positional issues, artifacts due to patient movement and metallic artifacts were not excluded in an attempt to reproduce the real radiological practice.

The images were independently evaluated by 1 radiologist and 2 radiology residents. The radiologist (PT) was fellowship trained and had two years of clinical experience in musculoskeletal (MSK) imaging (reader 1). Among the two residents (GO and AC) one was a 5th year radiology resident with 6 months of experience MSK imaging (reader 2), and the other was first year radiology resident with no experience in MSK imaging (reader 3), respectively. The readers were blinded for the clinical information and arthroscopy results.

All the images recovered from a digital database system, Xplore (EDL, La Seyne-Sur-Mer, Fr) and were evaluated in 2 sessions by the use of a PACS station (Impax V5, AGFA HealthCare, Ivry-sur-Seine, Fr). In the first session the proposed ACL classification was applied, and only the oblique sagittal images were evaluated by the readers. The second session took place with a minimum of 3 weeks delay with respect to the first one, and in this readout the ACL was evaluated using of 10 signs of ACL tear described in the literature (7-11, 22). Four direct signs (Ligament discontinuity; signal abnormality within the ligament; loss of ligament orientation with respect to the Blumensaat's line and ligament absence) and 6 indirect signs (verticalization of the posterior cruciate ligament [PCL]; anterior tibial translation, uncovering of the posterior horn of the lateral meniscus, bone bruises of the lateral knee compartment, deep sulcus sign and medial collateral ligament tears). Anterior tibial translation was defined as a 5mm distance between the posterior most points of the lateral femoral and tibial condyles. PCL verticalization was evaluated by constructing a line that passes through the proximal portion of this ligament and extends proximally until the femoral cortex. The sign was considered positive if this line crosses the posterior femoral cortex outside its 5 distal centimeters. Finally, the deep sulcus sign is considered to be positive when the lateral femoral notch is greater than 1.5 mm (7-11, 22).

The proposed ACL classification is based on the relationship of the anterior border of the lower half of the ACL to a base line angulated 45 degrees with respect to the long axis of the tibia. This classification uses only one oblique sagittal slice which was selected as follows: The sagittal images were browsed from lateral to medial until the first imaging containing a portion of the tibial insertion of the ACL was identified. Then the next slice which shows the medial most part of the ACL is selected. If the bulk of the ACL was visualized in only one slice (usually in the exams with a lower resolution and a larger slice thickness) that same slice was selected for the analysis.

After the slice selection, a line in the long axis of the tibia that parallels the posterior tibial cortex was drawn. This line passes through the point where the anterior border of the distal ACL insertion touches the bone cortex. Then a second line angulated 45 degrees respect to the first passing through the same point is drawn (fig. 1). 5 categories are determined taking in account the relation of the anterior border of the distal half of the ACL with this line.

In Type I the anterior border of the ligament is concave to the line and no ligament fibers cross the line. In type II the anterior border of the ACL touches or even crosses the line, but the ligament keeps an orientation parallel to the line. In Type III the distal fibers of the ACL bulge across the line and the distance between ligament and the line increases (horizontalization). In Type IV is similar to the previous type but the ligament fibers never cross the line. Finally type V is characterized by the non visualization of the anterior part of the tibial insertion of the ACL (fig.2). Types I and II were considered as normal (intact ligament) and types III-V were considered as Abnormal (complete ruptures, partial ruptures and synovialization). MR images showing the line placement and each of the types are shown in figures 3 to 7.

Statistical analysis:

Statistical analysis was done using arthroscopy as the gold standard. The Wilcoxon and Chi-2 test were used for socio-demographic analysis. The sensibility and specificity of the proposed classification system for the distinction between normal and abnormal ACLs was calculated for each reader. For global sensitivity and specificity values a consensus was reached for the cases in which there was discordance between the readers. The individual reader sensitivity and specificity was also calculated for each of the “classical” signs of ACL rupture, as well as for the distinction between normal and abnormal ACLs based on these signs. The values for each reader were then compared those of the proposed classification system by the use of the Mac Nemar test. The percentage of partial ruptures and synovial scarring of the ACL identified as abnormal using the new classification and the classic signs was also calculated and compared with using Mac Nemar test.

Multi-judge Kappa values were calculated to attest interobserver variability and reproducibility both of the classical signs and the new classification system. Kappa values were also acquired for each individual classification type and each individual classical sign. Interobserver agreement was compared using comparison test of two Kappa (23) The same statistical analysis (sensitivity, specificity and interobserver variability) was done for the use of the proposed classification and “classical” ACL ruptures comparing their performance in the two different MRI protocols previously described (2003-2007 vs. 2007-2009). The significance threshold was fixed to 0.05. Statistical analysis was done using SAS® 9.1 software.

RESULTS

Patient population consisted of 96 males and 35 females (M/F ratio 2.74); the mean age was 36 years. At arthroscopy 39 (23.7%) ACLs were classified as normal and 93(76.2%) were classified as abnormal. The mean age was statistically different between the two groups: 44 years in the first and 32 in the second ($p<0.0001$). The proportion of males in the abnormal ACL group was higher (77.4% vs. 61.5%), however this difference was not statistically significant ($p=0.06$). In the ACLs classified as abnormal at arthroscopy, 63 (67.7%) were called complete ruptures; 9 (9.7%) partial ruptures and 21(22.6%) synovialization.

The sensitivity and specificity of the proposed classification in characterizing the ACL as normal or abnormal for each reader were respectively 90%/78% for reader 1; 89%/81% for reader 2 and 88%/82% for reader 3. There was no statistically significant difference between the readers. The individual sensitivity and specificity values of the differentiation between normal and abnormal ACLs using the classical signs were respectively: 78%/92% for reader 1, 82%/86% for reader 2 and 81%/84% for reader 3. There was no statistical difference among the readers. The proposed classification demonstrated a higher sensitivity for all the readers when compared with the classical signs. This difference was statistically significant only for

reader 1 ($p=0.0023$). The specificity of the new classification was lower for all the three readers; however this difference was not statistically. The global sensitivity and specificity of the Classification was achieved after consensus reading of 9 discordant cases and was 91.1% (85.2-97) and 82.9% (70.4-95.2) respectively, with 88.8% ACLs being correctly classified by the new method. Interobserver agreement was also satisfactory (0.61 [0.55-0.67]) for concordance in each of the 5 different types that composed this classification system.

Table 1 demonstrates the sensibility, specificity and interobserver agreement of each of the classic signs evaluated.

The interobserver agreement was significantly higher for the proposed classification. The interobserver agreement between the 3 readers for the distinction between normal and abnormal ACLs was considered excellent ($k = 0.89$ [0.79-0.99]) for the proposed classification method and good ($k = 0.76$ [0.66-0.86]) for the classic signs ($p<0.0001$). The interobserver agreement of the new classification method was not influenced by image quality, on the other hand there was a significant loss of reproducibility when the classic signs were used to evaluate low quality studies ($k = 0.82$ [0.68-0.96] for high quality images and 0.71 [0.57-0.85] for low quality).

The performance of the proposed classification method in identifying partial ruptures and synovialized scarring of the ACL as abnormal was also higher when compared to the classical signs. Using the new method 67 to 75% of the partial ACL ruptures were detected compared with 50 to 67% when the classic signs were used, among the 3 readers. Similarly 80 to 85% of the cases in which synovialization of the ACL was present were detected by the new method compared to 55 to 62% when the classic signs were used. These differences, however, were not statistically significant. The global detection rate of the classification after consensus reading was 87% for partial rupture and 80% for ACL synovialisation. There was no preferential classification type in the cases of partial ruptures and synovializations of the ACL (table 2).

In four cases the ACL identified as normal at arthroscopy but all three readers using both the proposed classification and the “classic” imaging signs classified the ligament as abnormal.

The time necessary to apply the classification method presented was significantly shorter than that used to evaluate the 10 classical signs of ACL rupture. After the technique was mastered, with the PACS system we disposed, the time needed to apply this classification was roughly 1/3 of that needed to judge all classical signs. The whole evaluation, including, slice selection, lines and angle construction (once the sagittal images were displayed in the screen) took approximately 40 seconds.

DISCUSSION

The ACL is the main stabilizer of anterior tibial translation, and has an important role in maintaining the rotatory stability of the knee. With the knee in extension this ligament presents a double obliquity. It is inclined in the sagittal plane about 45 degrees with respect to

the vertical lower limb axis and it presents also a lateral to medial obliquity in the coronal plane. It is composed of 2 bundles or fascicles functionally distinct. The anteromedial (AM) bundle is taut in flexion and the posterolateral (PL) bundle taut in extension. Most of the ACL tears are complete involving both bundles. In cases of partial tears the AM bundle is most frequently compromised (16%) (24). Isolated tears of the posterolateral bundle are rare and difficult to identify even at arthroscopy (20). The anterior border of the ACL in the oblique sagittal plane, taken in account in the method presented, is formed by the AM bundle, which is abnormal in the great majority of the ligament tears identifiable at arthroscopy (25, 26).

An angulation of 10-20 degrees of the sagittal plane has been described to be optimal for ACL visualization (27). Oblique planes are reported to increase the specificity of the MR evaluation of the ACL, displaying most of the ligament fibers in a single slice, and reducing volume averaging (12). A sagittal oblique plane, perpendicular to the lateral troclear facete, which is the standard for all knees evaluated at our institution, served as base for the application of our classification.

The evaluation of the ACL angle in the sagittal plane has been used to detect ligament ruptures (10, 28). The ACL angle is reported to be more sensitive and specific than the other classic signs for the detection of ruptures (10). The comparison of the sagittal ACL orientation with that of the blumensaat's line is a reliable indicator of ligament status. This analysis, however, remains subjective due to the normal variation in the obliquity of the intercondylar roof, and also because small positional changes have significant influence in the osseous ligamentary relations. Additionally, we found the methods presented to quantify this angle impractical and time consuming since they involved superposition and summation of images (10, 28). The method presented is systematic, has an excellent reproducibility ($k = 0.89$), and is significantly less time consuming than the evaluation of the classical signs of ACL rupture.

The only previous attempt to classify the MR imaging aspect of the ACL was undertaken by Barry et al (29). These authors reported a high sensitivity and specificity (93 and 89%) for the detection of ligament tears with this classification. However, their criteria were somewhat subjective and no data on interobserver agreement was provided.

If a systematic evaluation is undertaken, using either the classical signs described in the literature or the new classification herein proposed, there is no significant influence of the readers experience in the sensibility and specificity of MR imaging for the detection of ACL ruptures. Considering a global evaluation (normal vs. abnormal) our classification had a higher sensitivity and lower specificity compared to the classical signs (sensitivity of 88-90% vs. 76-82% and specificity of 78-82% vs. 84-92% for the classification and the classical signs respectively).

The high and low quality sets of images were acquired in high field strength magnets. The parameters (FOV, slice thickness, matrix) encountered in the low quality set are comparable with those found in open magnet designs (30, 31). With respect to interobserver variability using this classification we found a higher agreement in both high quality and low quality

studies in all levels of experience. In fact there was a significant drop in reproducibility for the classical signs in the low quality exams. This corroborates with the hypothesis that this classification is also applicable lower field strengths.

Although not statistically significant the classification method presented detected more partial tears and synovializations of the ACL than the classic signs. This was probably due to the limited number of these types of ACL tears in this study. Further analysis with a larger patient population would help determine the usefulness of the proposed classification in this setting. Partial ruptures and synovialization of the ACL represent known pitfalls of the MR evaluation. Partial ruptures represent approximately 10% of the ACL tears, and these patients are managed differently than those with complete ruptures (13). Synovialization of the ruptured ACL is reported to occur in 23% of the tears and can simulate an intact ligament. The accurate diagnosis in these cases has obvious implications in patient care (18, 24).

Although higher field strengths are thought to have a small influence in the MR evaluation of musculoskeletal injuries, there are advantages in using this type of equipment (6). With the use of 3 Tesla MR Scanners it is possible to acquire high resolution volumetric 3 dimensional Spin Echo (SE) images. These sequences are reported to have the same sensibility and specificity than conventional sequences for the detection of ligament tears (32). However there is an important advantage with respect to conventional sequences, as multiplanar reformations are feasible and images in an ideal plane for the evaluation ACL can be acquired. We hypothesize that with the use of reformed 3-D SE images could increase the accuracy and reproducibility of the proposed classification.

This study has multiple limitations. Due to its retrospective character no systematization of the arthroscopic examination was possible. Our study population had a selection bias. There is a tendency to perform arthroscopy in patients with more serious knee injury, which accounts for our relatively small control group. Although within a clinically accepted range, for research proposes the delay between MR examination and arthroscopy (4 months) was relatively long. This might have played a role in some disparities between arthroscopic and MR findings especially in the cases of sinovialization of the ACL. Due to the rarity and diagnostic difficulties in the diagnosis of partial ACL tears the number of patients studied with this type of injury was small (9). Although we had a high detection rate of partial tears further research is necessary to ascertain the value of our classification in this setting.

In conclusion, our results indicate that a systematic approach to the evaluation of ACL has high accuracy for the detection of ligament tears and is not influenced by the reader's expertise. The proposed classification (Teixeira-Oldrini) is globally more reproducible, has a higher sensitivity and its application is considerably less time consuming than that of the classic signs of ACL tear. Additionally it detects approximately 75% of partial ruptures and synovializations of the ACL. Hence, there might be a potential role of this method in "screening" for ACL abnormalities, especially when the MR study is interpreted by practitioners with limited experience in MSK radiology or in emergency settings.

BIBLIOGRAPHY

1. Clayton RA, Court-Brown CM. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. *Injury*. 2008 Dec;39(12):1338-44.
2. Tandogan RN, Taser O, Kayaalp A, Taskiran E, Pinar H, Alparslan B, et al. Analysis of meniscal and chondral lesions accompanying anterior cruciate ligament tears: relationship with age, time from injury, and level of sport. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004 Jul;12(4):262-70.
3. Rayan F, Bhonsle S, Shukla DD. Clinical, MRI, and arthroscopic correlation in meniscal and anterior cruciate ligament injuries. *International orthopaedics*. 2009 Feb;33(1):129-32.
4. Kocabey Y, Tetik O, Isbell WM, Atay OA, Johnson DL. The value of clinical examination versus magnetic resonance imaging in the diagnosis of meniscal tears and anterior cruciate ligament rupture. *Arthroscopy*. 2004 Sep;20(7):696-700.
5. Kim A, Khoury L, Schweitzer M, Jazrawi L, Ishak C, Meislin R, et al. Effect of specialty and experience on the interpretation of knee MRI scans. *Bulletin of the NYU hospital for joint diseases*. 2008;66(4):272-5.
6. Krampla W, Roesel M, Svoboda K, Nachbagauer A, Gschwantler M, Hruby W. MRI of the knee: how do field strength and radiologist's experience influence diagnostic accuracy and interobserver correlation in assessing chondral and meniscal lesions and the integrity of the anterior cruciate ligament? *European radiology*. 2009 Jun;19(6):1519-28.
7. Robertson PL, Schweitzer ME, Bartolozzi AR, Ugoni A. Anterior cruciate ligament tears: evaluation of multiple signs with MR imaging. *Radiology*. 1994 Dec;193(3):829-34.
8. Brandser EA, Riley MA, Berbaum KS, el-Khoury GY, Bennett DL. MR imaging of anterior cruciate ligament injury: independent value of primary and secondary signs. *Ajr*. 1996 Jul;167(1):121-6.
9. Tung GA, Davis LM, Wiggins ME, Fadale PD. Tears of the anterior cruciate ligament: primary and secondary signs at MR imaging. *Radiology*. 1993 Sep;188(3):661-7.
10. Mellado JM, Calmet J, Olona M, Gine J, Sauri A. Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament tears: reevaluation of quantitative parameters and imaging findings including a simplified method for measuring the anterior cruciate ligament angle. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004 May;12(3):217-24.
11. McCauley TR, Moses M, Kier R, Lynch JK, Barton JW, Jokl P. MR diagnosis of tears of anterior cruciate ligament of the knee: importance of ancillary findings. *Ajr*. 1994 Jan;162(1):115-9.
12. Kwon JW, Yoon YC, Kim YN, Ahn JH, Choe BK. Which oblique plane is more helpful in diagnosing an anterior cruciate ligament tear? *Clinical radiology*. 2009 Mar;64(3):291-7.
13. Petersen W, Zantop T. Partial rupture of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2006 Nov;22(11):1143-5.
14. Katahira K, Yamashita Y, Takahashi M, Otsuka N, Koga Y, Fukumoto T, et al. MR imaging of the anterior cruciate ligament: value of thin slice direct oblique coronal technique. *Radiation medicine*. 2001 Jan-Feb;19(1):1-7.
15. Lawrance JA, Ostlere SJ, Dodd CA. MRI diagnosis of partial tears of the anterior cruciate ligament. *Injury*. 1996 Apr;27(3):153-5.
16. Chen WT, Shih TT, Tu HY, Chen RC, Shau WY. Partial and complete tear of the anterior cruciate ligament. *Acta Radiol*. 2002 Sep;43(5):511-6.

17. Roychowdhury S, Fitzgerald SW, Sonin AH, Peduto AJ, Miller FH, Hoff FL. Using MR imaging to diagnose partial tears of the anterior cruciate ligament: value of axial images. *Ajr*. 1997 Jun;168(6):1487-91.
18. Higuera Guerrero V, Torregrosa Andres A, Marti-Bonmati L, Casillas C, Sanfeliu M. Synovialisation of the torn anterior cruciate ligament of the knee: comparison between magnetic resonance and arthroscopy. *European radiology*. 1999;9(9):1796-9.
19. Roberts CC, Towers JD, Spangehl MJ, Carrino JA, Morrison WB. Advanced MR imaging of the cruciate ligaments. *Magnetic resonance imaging clinics of North America*. 2007 Feb;15(1):73-86.
20. Sonnery-Cottet B, Barth J, Graveleau N, Fournier Y, Hager JP, Chambat P. Arthroscopic identification of isolated tear of the posterolateral bundle of the anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2009 Jul;25(7):728-32.
21. Huang GS, Lee CH, Chan WP, Lee HS, Chen CY, Yu JS. Acute anterior cruciate ligament stump entrapment in anterior cruciate ligament tears: MR imaging appearance. *Radiology*. 2002 Nov;225(2):537-40.
22. Cobby MJ, Schweitzer ME, Resnick D. The deep lateral femoral notch: an indirect sign of a torn anterior cruciate ligament. *Radiology*. 1992 Sep;184(3):855-8.
23. Blum A, Feldmann L, Bresler F, Jouanny P, Briancon S, Regent D. [Value of calculation of the kappa coefficient in the evaluation of an imaging method]. *Journal de radiologie*. 1995 Jul;76(7):441-3.
24. Panisset JC, Duraffour H, Vasconcelos W, Colombet P, Javois C, Potel JF, et al. [Clinical, radiological and arthroscopic analysis of the ACL tear. A prospective study of 418 cases]. *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur*. 2008 Dec;94(8 Suppl):362-8.
25. Poellinger A, Scheffler S, Hamm B, Asbach P. Magnetic resonance imaging of double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Skeletal radiology*. 2009 Apr;38(4):309-15.
26. Remer EM, Fitzgerald SW, Friedman H, Rogers LF, Hendrix RW, Schafer MF. Anterior cruciate ligament injury: MR imaging diagnosis and patterns of injury. *Radiographics*. 1992 Sep;12(5):901-15.
27. Buckwalter KA, Pennes DR. Anterior cruciate ligament: oblique sagittal MR imaging. *Radiology*. 1990 Apr;175(1):276-7.
28. Murao H, Morishita S, Nakajima M, Abe M. Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament (ACL) tears: diagnostic value of ACL-tibial plateau angle. *J Orthop Sci*. 1998;3(1):10-7.
29. Barry KP, Mesgarzadeh M, Triolo J, Moyer R, Tehranzadeh J, Bonakdarpour A. Accuracy of MRI patterns in evaluating anterior cruciate ligament tears. *Skeletal radiology*. 1996 May;25(4):365-70.
30. Tavernier T, Cotten A. High- versus low-field MR imaging. *Radiologic clinics of North America*. 2005 Jul;43(4):673-81, viii.
31. Sanal HT, Cardoso F, Chen L, Chung C. Office-based versus high-field strength MRI: diagnostic and technical considerations. *Sports Med Arthrosc*. 2009 Mar;17(1):31-9.
32. Kijowski R, Davis KW, Woods MA, Lindstrom MJ, De Smet AA, Gold GE, et al. Knee joint: comprehensive assessment with 3D isotropic resolution fast spin-echo MR imaging--diagnostic performance compared with that of conventional MR imaging at 3.0 T. *Radiology*. 2009 Aug;252(2):486-95.

Table 1

	Discontinuity	Signal abnormalities	Loss of parallelism	Absence	Verticalization of the PCL	Anterior tibial translation	Uncovering of the posterior horn of the lateral meniscus	Osseous contusion	Patello femoral sulcus	MCL lesion
Interobserver agreement	0,72	0,59	0,73	-0,02	0,43	0,67	0,63	0,75	0,38	0,39
Sensitivity	74,4%	55,6%	71,1%	2,2%	36,7%	55,6%	40%	57,8%	18,9%	2,8%
Specificity	94,4%	77,8%	91,7%	100%	88,9%	88,9%	88,9%	86,1%	91,7%	97,2%

Table 2

		Arthroscopy			
		Normal	Partial tear	Synovialisation	Complete tear
MRI	Type 1	13	0	2	2
	Type 2	16	2	1	3
	Type 3	2	3	6	13
	Type 4	1	0	4	16
	Type 5	4	4	8	28

Fig.1

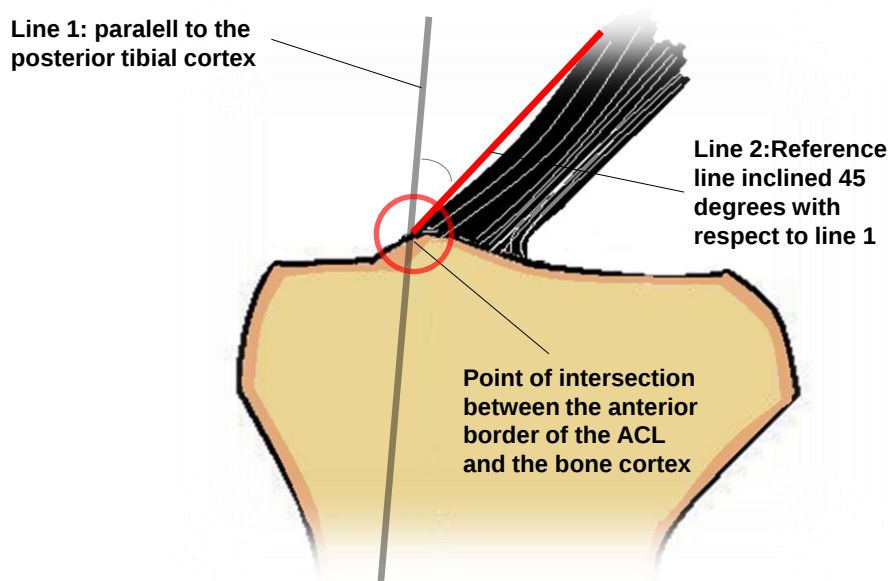


Fig.1: Schema demonstrating the construction of the lines and building of axis used for the proposed classification. After slice selection lines 1 and 2 are drawn as shown in the picture.

Fig. 2

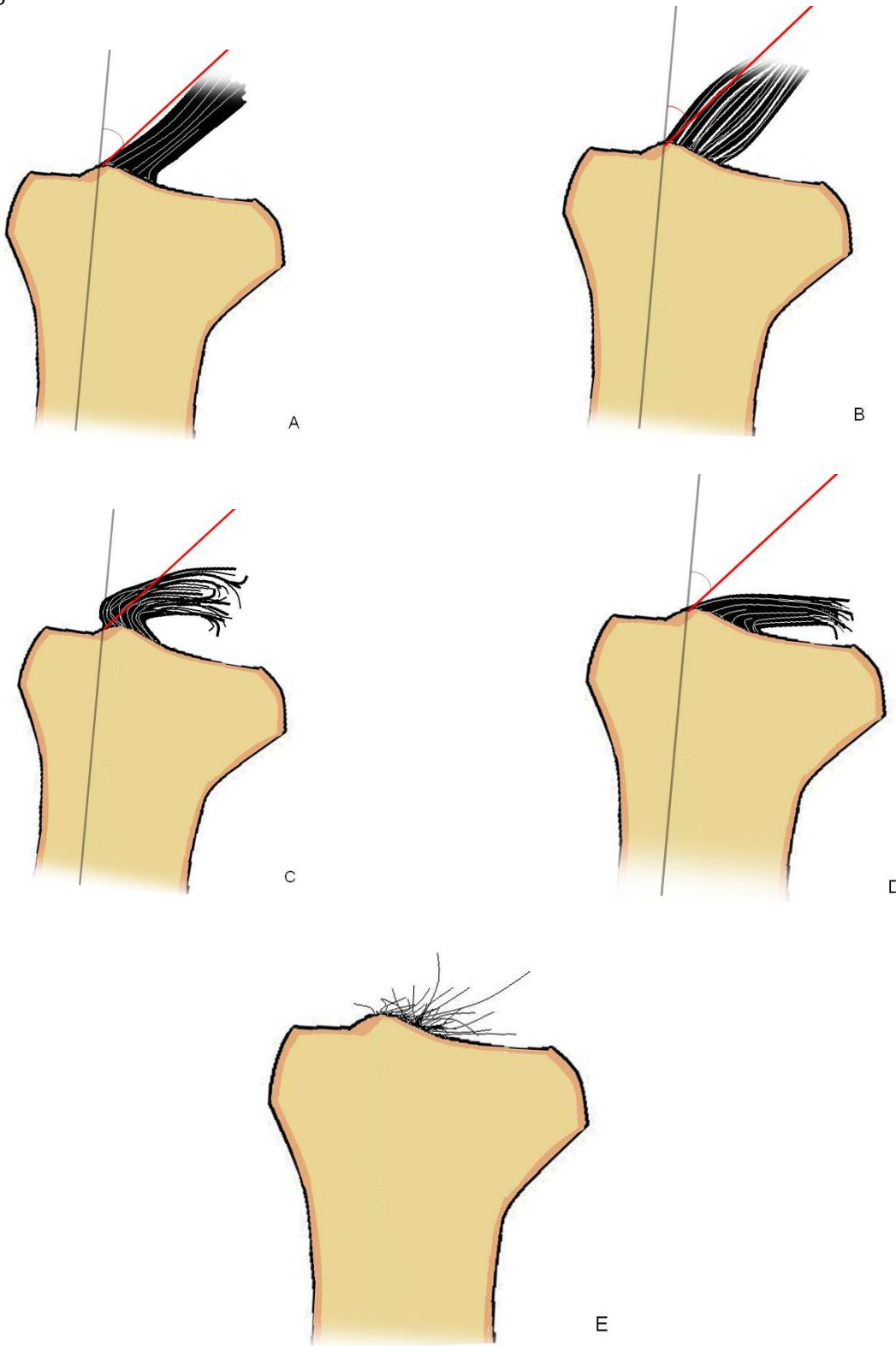


Fig. 2: Schemas demonstrating each type of ACL. (A) Type I: no ACL fibers cross line 2 (red) and the ligament border is concave and maintains its orientation with respect to the line. (B) Type II: Anterior border of the ACL is straight or convex and may touch or cross line 2 (red), ligament orientation is maintained. (C) Type III: Lower ligament fibers cross line 2 (red), the ACL is horizontalized and its distance to line 2 increases proximally. (D) Type IV: The ligament is completely horizontalized and no ligament fibers are seen to cross line 2 (red). (E) Type V: The ligament is difficult to identify at MR, the point of intersection between the anterior ACL fibers and the bone cortex cannot be identified, and the lines cannot be drawn.

Fig. 3



Fig. 3: Type I ACL. T2 weighted sagittal MR images of a 16 year old female patient with an arthroscopically proven normal ACL. Note the concave aspect of the anterior ACL border; no fibers cross the line.

Fig. 4

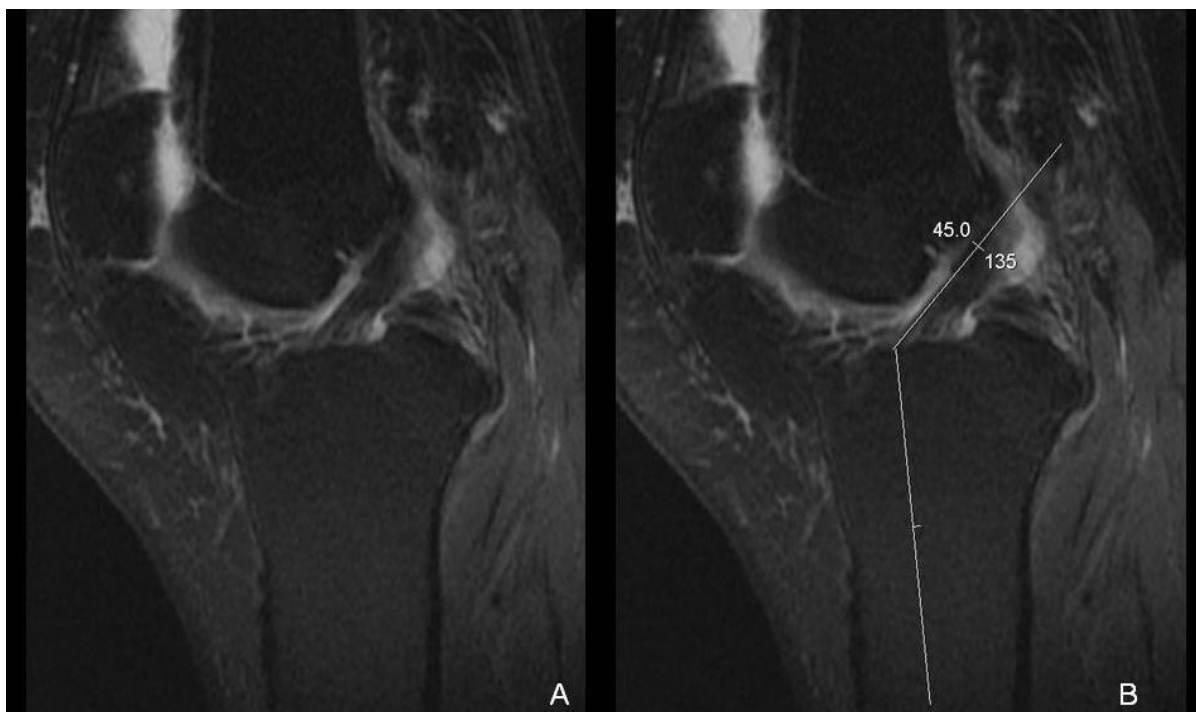


Fig. 4: Type II ACL. T2 weighted sagittal MR images of a 76 year old female patient with an arthroscopically proven normal ACL. Note the straight or even slightly concave anterior ACL border which touches the line; ligament orientation is maintained.

Fig. 5

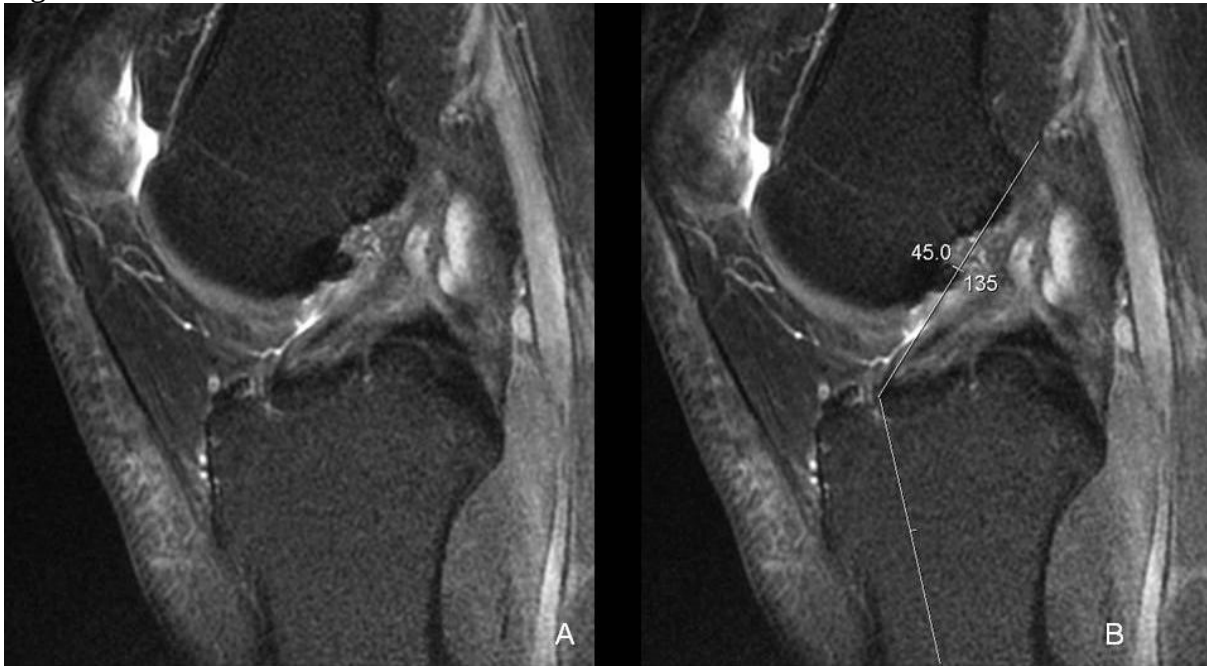


Fig. 5: Type III ACL. T2 weighted sagittal MR images of a 38 year old male patient with an arthroscopically proven total ACL rupture. Note the inferior ligament fibers crossing the line and the partially oriented ACL with an ever increasing distance between the ligament and the line.

Fig. 6

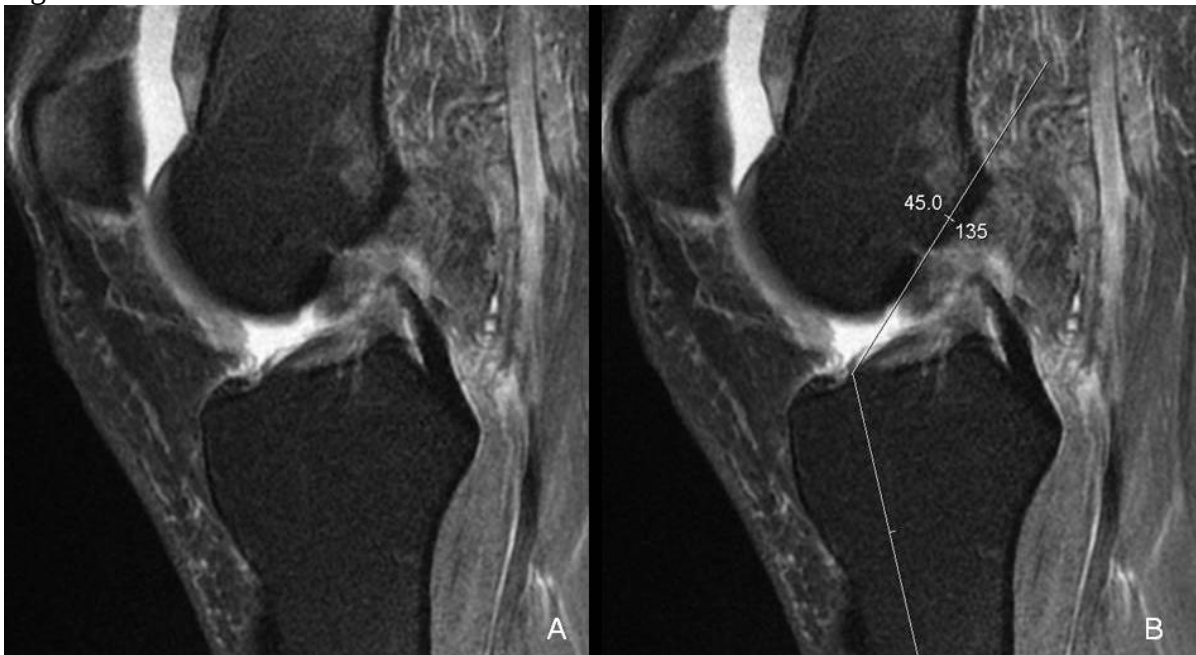


Fig. 6: Type IV ACL. T2 weighted sagittal MR images of a 36 year old female patient with an arthroscopically proven total ACL rupture. Note the horizontalization of the ligament with no fibers crossing the line.

Fig. 7

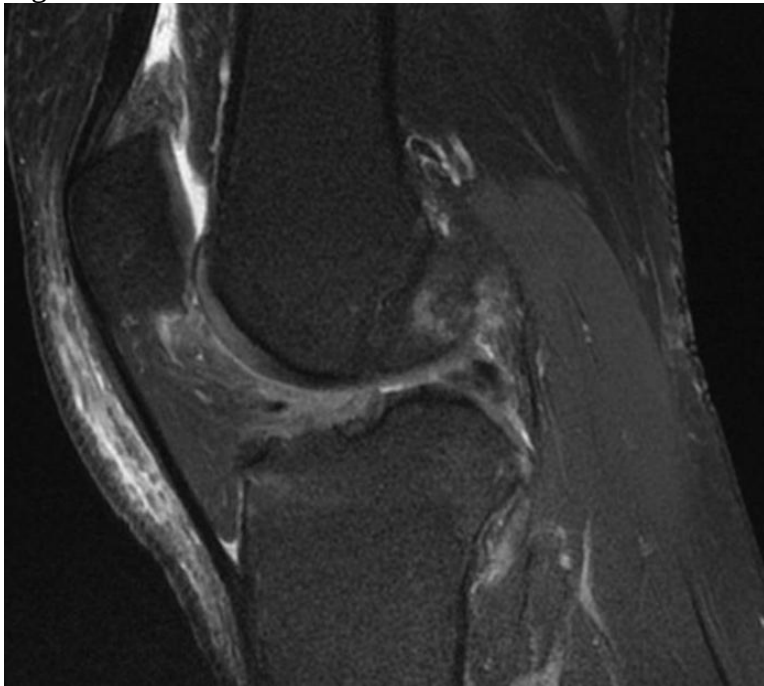


Fig 7: Type V ACL. T2 weighted sagittal MR images of a 50 year old male patient with an arthroscopically proven total ACL rupture. Note that the insertion of the anterior portion of the ACL cannot be identified; ligament fibers are not appropriately distinguished.

VU

NANCY, le **15 avril 2010**

Le Président de Thèse

Professeur A. BLUM

NANCY, le **23 avril 2010**

Le Doyen de la Faculté de Médecine

Par délégation

Professeur H. COUDANE

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE

NANCY, le **29 avril 2010**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1

Par délégation

Madame C. CAPDEVILLE-ATKISON

Objectifs

Evaluer une nouvelle classification IRM du ligament croisé antérieur (LCA), permettant de montrer sa rupture ou son intégrité, en la confrontant aux résultats de l'arthroscopie et aux signes IRM décrits antérieurement. Discuter son intérêt dans les ruptures partielles et les ruptures cicatrisées en nourrice.

Matériels et méthodes

Etude rétrospective sur 131 patients adressés pour une IRM du genou avec arthroscopie dans les quatre mois suivant l'IRM retrouvant 93 LCA rompus et 39 non rompus. Evaluation du LCA par trois lecteurs indépendants (un sénior et deux juniors) en utilisant uniquement la séquence sagittale T2 avec saturation de la graisse. Classification du LCA en cinq catégories dont trois correspondent à une rupture. Calcul de la sensibilité, de la spécificité et de la concordance inter observateur. Comparaison de ses valeurs avec celles obtenues pour 10 signes classiques décrits dans la littérature

Résultats

La sensibilité est de 91% et la spécificité de 83% pour la classification avec une excellente concordance inter observateur (Kappa : 0,89). Les ruptures en nourrice sont détectées dans 80% des cas et les ruptures partielles dans 87% des cas.

Conclusion

Cette classification du LCA permet une bonne évaluation du LCA avec une excellente concordance interobservateur. Elle est également intéressante pour les ruptures partielles et les ruptures cicatrisées en nourrice.

TITRE EN ANGLAIS

A new classification method for the MR imaging evaluation of anterior cruciate ligament ruptures: diagnostic interest

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE – ANNÉE 2010

MOTS CLEFS : IRM, LIGAMENT CROISE ANTERO-EXTERNE, RUPTURE

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'U.F.R. :

Faculté de Médecine de Nancy

9, avenue de la Forêt de Haye

54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex
