
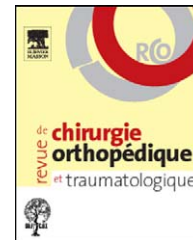




Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
 EM|consulte
www.em-consulte.com



MÉMOIRE ORIGINAL

Intérêt diagnostique des clichés dynamiques dans l'évaluation des ruptures du croisé antérieur[☆]

Laxity measurements using stress radiography to assess anterior cruciate ligament tears

J. Beldame*, S. Bertiaux, X. Roussignol, B. Lefebvre,
J.-M. Adam, F. Mouilhade, F. Dujardin

Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, CHU de Rouen, 1, rue de Germont, 76031 Rouen cedex, France

Acceptation définitive le : 30 septembre 2010

MOTS CLÉS

Laxité antérieure de genou ;
Laximétrie ;
Ligament croisé antérieur ;
Radiographies dynamiques ;
Telos®

Résumé

Introduction. – Le diagnostic clinique de lésion du ligament croisé antérieur (LCA) repose sur la mise en évidence de la subluxation antérieure du tibia sur le fémur. Dans un but diagnostique (valeur seuil affirmant la rupture), pronostique (efficacité du traitement) et thérapeutique (laxité influençant le traitement), cette laxité peut être mesurée par des radiographies dynamiques.

Hypothèse de travail. – La valeur diagnostique des radiographies dynamiques est faible pour la rupture du LCA. Les clichés passifs « Telos® » sont de meilleure valeur diagnostique, de meilleure qualité radiologique et de réalisation plus facile que les clichés actifs type « Franklin ».

Patients et méthode. – Une cohorte de 112 patients (28 femmes, 84 hommes, d'âge moyen 33,7 ans [18–72]) pour lesquels une indication d'arthroscopie du genou était portée a été étudiée de façon prospective. Avant réalisation du traitement arthroscopique, deux séries de clichés dynamiques des deux genoux étaient réalisées : – une série de clichés dynamiques « en tiroir antérieur passif » sur appareil Telos® à 250 Newton. – Une série de clichés dynamiques en « tiroir antérieur actif » hors charge selon Franklin (contraction du quadriceps contre un poids de 7 kg à la cheville). L'évaluation arthroscopique du LCA (constituant le statut de référence) était comparée aux mesures des laxités antérieures (absolues et différentielles) de chaque compartiment du genou (médial, latéral et moyen) pour déterminer la valeur diagnostique des deux tests radiologiques.

DOI de l'article original : [10.1016/j.otsr.2010.08.004](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2010.08.004).

[☆] Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, en utilisant le DOI ci-dessus.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : Julien.beldame@gmail.com (J. Beldame).

Résultats. – L'exploration du pivot central retrouvait 70 patients avec un « LCA arthroscopiquement rompu », 32 avec un « LCA arthroscopiquement sain » et dix avec une « rupture partielle ». Réalisée par deux observateurs indépendants, la mesure des tiroirs sur ces clichés dynamiques (actifs et passifs) était fiable et reproductible ($ICC > 0,80$), surtout en utilisant le compartiment médial ($ICC = 0,96$) et les valeurs différentielles permettant de s'affranchir des erreurs de mesures et des laxités interindividuelles. Du point de vue de leur réalisation, les clichés « actifs » étaient plus souvent douloureux et de moins bonne qualité radiographique que les clichés « passifs ».

La valeur des tiroirs antérieurs dans le groupe « LCA sain » était significativement inférieure au groupe « LCA rompu » pour les clichés « TELOS[®] », que les mesures soient absolues ou différentielles. Pour les clichés « actifs », cette différence n'était significative que pour les valeurs absolues. Utilisés à titre diagnostique (différentielle de 4 mm sur le compartiment médial), les clichés dynamiques « passifs » avaient des valeurs diagnostiques ($Se = 59\%$ et $Sp = 90\%$) inférieures aux séries de la littérature marquées par une grande hétérogénéité.

Conclusion. – La mesure des tiroirs antérieurs selon les clichés dynamiques « Telos[®] » et « Franklin » est une mesure fiable et reproductible, surtout en utilisant le compartiment médial et les mesures différentielles. Sur nos effectifs limités, nous n'avons pas mis en évidence de valeur diagnostique aux clichés « Franklin », contrairement aux clichés « Telos[®] ». Utilisés à titre diagnostique, les clichés « Telos[®] » étaient d'une faible sensibilité ; leur utilisation est donc, pour nous, préférentiellement pronostique ou thérapeutique.

Type d'étude. – Étude prospective cas témoin. Niveau III.

© 2010 Publié par Elsevier Masson SAS.

Introduction

Le ligament croisé antérieur (LCA) constitue le frein primaire à la subluxation antérieure du tibia. Sa section est une condition nécessaire et suffisante pour observer une augmentation de la translation tibiale antérieure [1,2] et un déplacement médial du centre de rotation, perturbant la biomécanique et la cinématique du genou. Il en découle une mise en charge accrue et dangereuse pour les autres composants du genou (ménisques, cartilage, capsule et autres ligaments).

Le diagnostic clinique de lésion du LCA est fondé sur la recherche de mouvements anormaux, produits par le déficit de frein à la translation tibiale antérieure. Cependant, l'évaluation manuelle de cette translation tibiale antérieure est imprécise, subjective et non reproductible [3,4]. Plusieurs auteurs [5–8] ont donc proposé l'utilisation de laximètres (d'usage clinique) ou de clichés radiographiques dynamiques pour quantifier de manière objective ces déplacements. La détermination de ces laxités pouvant avoir un intérêt diagnostique (valeur seuil de translation affirmant la rupture), pronostique (efficacité d'un traitement) et thérapeutique (influence de l'importance de la laxité sur le traitement chirurgical à réaliser).

L'intérêt des radiographies dynamiques est de mesurer le déplacement réel du tibia par rapport au fémur en s'affranchissant des parties molles, pouvant représenter plus de 50 % du déplacement antéropostérieur [9]. Ces clichés dynamiques peuvent être « passifs » ou « actifs » [8].

Le but de notre étude était de comparer deux types de clichés dynamiques de genou (l'un actif, l'autre passif) et

d'en déterminer les valeurs statistiques pour le diagnostic de rupture du LCA.

Cette étude a fait l'objet d'un enregistrement « Recherche et Collections Biologiques » (CRB) auprès de l'« Association française de sécurité sanitaire des produits de santé » (Afssaps) sous le numéro 2009-A00309-48 ; et d'un « Protocole en Soins Courants » auprès du « Comité de protection des personnes » Nord-Ouest I (CPP Nord-Ouest I) avec obtention d'un « Avis favorable » sous le numéro CPP-SC 2009/009.

Hypothèse

La valeur diagnostique des radiographies dynamiques pour la rupture du LCA est faible. Les clichés passifs « Telos[®] » sont de meilleure valeur diagnostique, de meilleure qualité radiologique et de réalisation plus facile que les clichés actifs « Franklin ».

Patients et méthode

Cette étude prospective de cohorte effectuée au CHU de Rouen sur 18 mois (août 2008–février 2009) a porté sur 112 patients (84 hommes et 28 femmes, d'âge moyen 33,7 ans [18–72]), pour lesquels étaient réalisées deux séries de clichés dynamiques des deux genoux puis une arthroscopie. Le délai « début de la symptomatologie/chirurgie » était en moyenne de 20,3 mois (Tableau 1).

L'examen clinique du genou symptomatique comprenait les tests de Lachman, du tiroir antérieur et du ressaut, cotés selon l'« IKDC » (International Knee Documentation Committee). Dans le même temps que la proposition du traitement chirurgical, le chirurgien (XR,

Tableau 1 Données démographiques.

	Population totale	LCA normal	LCA rompu	Rupture partielle
Effectifs	112	32	70	10
Sexe ratio H/F	86/26	22/10	56/14	8/2
Âge à la chirurgie (en année). (moyenne \pm DS) (min, max)	38 \pm 14,7(18–72)	45,7 \pm 14,6(18–72)	34,3 \pm 13,5(21–64)	39,9 \pm 14,5(20–59)
Délai accident chirurgie (en semaine)	95,5 \pm 144,8	107,3 \pm 149,9	94,8 \pm 148,6	55,57 \pm 75,5

LCA: ligament croisé antérieur.

Tableau 2 Critères d'inclusion et d'exclusion.

Les critères d'inclusion	Patients symptomatiques pour lesquels le chirurgien portait une indication chirurgicale arthroscopique du genou Consentement oral au protocole en soin courant Genou controlatéral (au symptomatique) présumé sain
Les critères d'exclusion	Antécédent traumatique ou chirurgical du genou controlatéral Patiente enceinte ou sans contraception Refus du patient de participer au protocole Laxité frontale en extension

JMA, BL, FM) exposait à son patient les modalités du protocole et recueillait son consentement oral. Les critères d'inclusion et d'exclusion (Tableau 2) tenaient compte de l'exposition aux rayonnements ionisants et de la nécessité d'un genou controlatéral sain. La laxité frontale en extension, lors de l'examen clinique, était un critère d'exclusion.

Des clichés dynamiques des deux genoux (genou symptomatique et controlatéral sain) étaient réalisés selon

deux méthodes par les techniciens de radiologie du service (Fig. 1):

- une série de clichés dynamiques «en tiroir antérieur passif» sur appareil Telos® (Telos GmbH®, Laubscher, Holstein, Suisse) à 250 Newton (N) ;
- une série de clichés dynamiques en « tiroir antérieur actif » hors charge selon la méthode de Franklin et al. [10] (générant, selon les auteurs, une force antérieure de 154,8 \pm 28,5 N). Il s'agit d'une méthode simple et peu coûteuse pour la réalisation de clichés tenus en position de Lachman. Le tiroir antérieur du tibia est produit par la contraction du quadriceps (extension de la jambe sur la cuisse, la cheville lestée de 7 kg), amenant le genou à 20° de flexion. Nous avons préféré cette méthode à celle de «Lerat et al.» [8] ne différant que par le poids à la cheville (9 kg pour Lerat et al.), car l'étude préliminaire retrouvait des douleurs et des difficultés pour soulever cette charge sur un genou traumatisé.

La lecture des clichés dynamiques était effectuée par deux opérateurs (J.B et S.B), indépendants des chirurgiens, sans connaître le statut arthroscopique du LCA, ni le genou symptomatique. Chaque opérateur mesurait de manière indépendante, sur papier calque, les tiroirs antérieurs des deux genoux de chaque patient à l'aide d'une règle graduée (précision=0,5 mm). La mesure des tiroirs

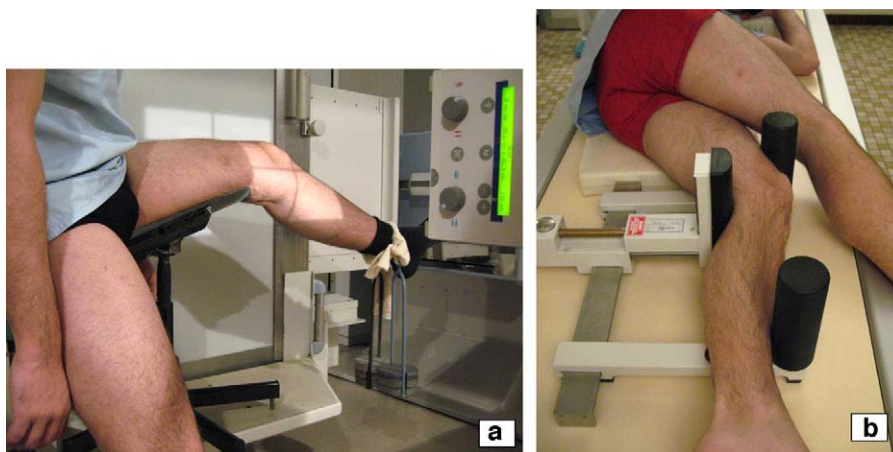


Figure 1 a : les clichés selon Franklin et al. [10]. Le tiroir antérieur du tibia est produit par la contraction du quadriceps (extension de la jambe sur la cuisse, la cheville lestée de 7 kg), amenant le genou à 20° de flexion ; b : le Telos® est un appareil s'utilisant sur une table radiographique standard et reproduisant le test de Lachman en position « tenue ».

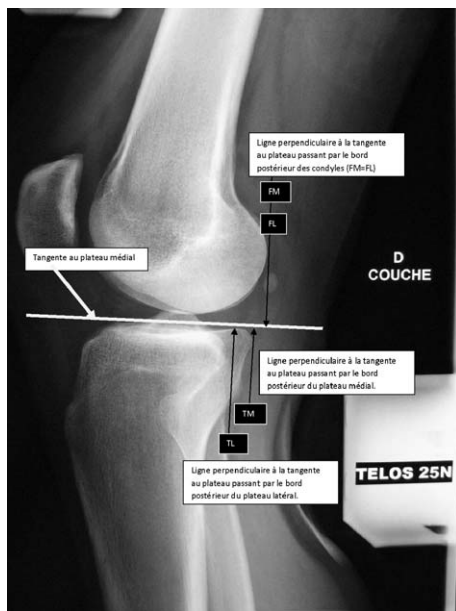


Figure 2 Méthode de mesure des tiroirs antérieurs. Tiroir antérieur du compartiment médial (TACM) = distance de FM à TM. Tiroir antérieur du compartiment latéral (TACL) = distance de FL à TL. Tiroir antérieur moyen (TAM) = moyenne de TACM et TACL. La valeur positive (+) ou négative (-) de la mesure est fixée par rapport au fémur considéré comme fixe : un compartiment tibial médial en « avant » du compartiment fémoral médial est noté « + », et inversement.

était faite par rapport à la tangente au plateau médial, qui constituait la référence, à partir de laquelle des perpendiculaires aux différents reliefs osseux étaient tracées (Fig. 2). La mesure des tiroirs utilisée pour l'analyse statistique était la moyenne des deux opérateurs (J.B et S.B). Ces mesures étaient effectuées sur : le tiroir antérieur du compartiment médial (TACM), le tiroir antérieur du compartiment latéral (TACL) et le tiroir antérieur moyen (TAM) (correspondant à la moyenne des condyles médiaux et latéraux) par rapport à la moyenne des plateaux médiaux et latéraux), selon les repères osseux décrits par Jacobsen

[11,12]. Ces mesures « absolues » étaient complétées par des mesures « différentielles », différence (en valeur absolue) des translations droite et gauche par compartiment chez un même patient, tel que : $\text{dif(TACM)} = \text{valeur absolue (TACM droit - TACM gauche)}$, $\text{dif(TACL)} = \text{valeur absolue (TACL droit - TACL gauche)}$ et $\text{dif(TAM)} = \text{valeur absolue (TAM droit - TAM gauche)}$.

Un score de qualité radiographique des clichés dynamiques était établi (Fig. 3) : les clichés « Telos® » étaient notés sur cinq points et les clichés « Franklin » sur quatre points. Ce score de qualité était complété par la mesure de la distance intercondylienne postérieure (DICP) (normalement égale à 0 sur un profil strict).

Le traitement chirurgical arthroscopique clôturait le protocole. Quel que soit le traitement réalisé (intervention méniscale, intervention ligamentaire, biopsie synoviale...), un bilan du LCA était systématiquement réalisé avec appréciation visuelle du LCA et palpation au crochet. Chaque LCA était ainsi classé en « LCA arthroscopiquement normal », « LCA arthroscopiquement rompu » ou « rupture partielle du LCA à l'arthroscopie ».

L'évaluation arthroscopique du LCA, constituant le statut de référence, était comparée aux mesures de laxité des compartiments sur les deux séries de clichés dynamiques.

L'analyse statistique était faite à l'aide du logiciel NCSS (Kaysville, Utah 84037, États-Unis). Le test du Fisher était utilisé pour comparer les variables qualitatives, le test de Kruskal et Wallis (avec correction de Bonferroni) et de Mann et Whitney pour comparer les variables quantitatives.

Résultats

Cent douze patients ont été inclus dans notre protocole. Tous ont pu bénéficier d'une exploration arthroscopique du pivot central retrouvant 70 patients avec un « LCA arthroscopiquement normal » (62,5%), 32 patients avec un « LCA arthroscopiquement rompu » (28,5%) et dix patients avec une « rupture partielle du LCA à l'arthroscopie » (9%).

Les données de l'examen clinique, effectué par les cinq opérateurs, sont rapportées dans la Fig. 4. En comparant les IKDC laxité grade A versus B, C et D, nous avons déterminé les

	Critères de bonne qualité	Nombre du point par critère
Tiroir antérieur passif de type « Telos® ». (Figure 3a)	- radiographie de profil strict (distance inter-condylienne postérieure < 5mm).	1
	- angulation articulaire du genou entre 10° et 30°.	1
	- rayon incident à la hauteur de l'interligne artriculaire enfilant les 2 plateaux tibiaux.	1
	- cliché radiographique net.	1
	- positionnement du piston adapté (en arrière de l'épiphysse proximale du tibia).	1
	Total sur 5 points	
Tiroir antérieur actif hors charge type « Franklin ». (Figure 3b)	- radiographie de profil strict (distance inter-condylienne postérieure < 5mm).	1
	- angulation articulaire du genou entre 10° et 30°.	1
	- rayon incident à la hauteur de l'interligne artriculaire enfilant les 2 plateaux tibiaux.	1
	- cliché radiographique net.	1
	Total sur 4 points	



Figure 3 Score de qualité radiographique des clichés dynamiques : les clichés de type « Telos® » sont notés sur cinq points ; les clichés de type « Franklin » sont notés sur quatre points.

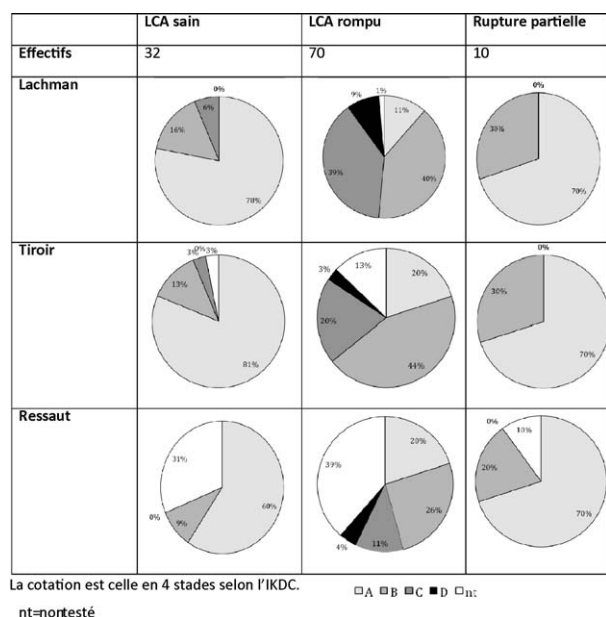


Figure 4 Données de l'examen clinique par les cinq opérateurs en fonction du statut du ligament croisé antérieur (LCA).

sensibilités et spécificités des trois tests cliniques. Le test de Lachman était le plus sensible (88,4%), alors que le ressaut rotatoire était le plus spécifique (Sp=86,3%). Le Lachman constituait un test non douloureux, presque toujours réalisable (nr = 1); contrairement au tiroir antérieur nécessitant une flexion d'au moins 90° (nr = 12) ou au ressaut rotatoire très exigeant du point de vue de la détente musculaire du patient (nr = 38). Cette différence de tests non réalisables était significative (test de Fisher $p < 0,05$).

Pour les clichés dynamiques (Tableau 3); tous les clichés de type «Telos®» réalisés ont pu être exploités (deux clichés/patient, soit 224 clichés). Sur les clichés de type «Franklin», seulement 160 clichés ont pu être mesurés (71,4%): 36 clichés (16%) n'ont pas été réalisés (oubli ou manque de temps en radiologie); pour 16 clichés (7,1%), la manœuvre demandée était non réalisable par le patient (douleur ou déficit musculaire) et pour 12 clichés (5,3%), la qualité des radiographies ne permettait pas les mesures. Ces différences étaient significatives pour ces trois items (test de Fisher, $p < 0,05$). Il existait également une différence significative sur la qualité des clichés: la qualité des clichés,

ainsi que la distance intercondylienne étaient meilleures pour les clichés «Telos®» que «Franklin» (test de Fisher, $p < 0,05$): 4,62 points sur cinq (Telos®) contre 2,49 points sur quatre (Franklin) pour la qualité radiologique; et une DICP de $3,09 \text{ mm} \pm 2,63$ (Telos®) contre $8,65 \text{ mm} \pm 7,22$ (Franklin).

La reproductibilité interobservateur (J.B versus S.B) a été évaluée sur la DICP, la différentielle des TACM et des TACL (Tableau 4). La moyenne des erreurs était de $0,141 \text{ mm} \pm 0,75$ pour la DICP, $0,197 \text{ mm} \pm 1,27$ pour la dif(TACM) et de $0,118 \text{ mm} \pm 3,15$ pour la dif(TACL). Étudiées statistiquement par les courbes de Bland et Altman, il n'a pas été retrouvé de différence significative entre les mesures des deux opérateurs sur ces trois items ($p > 0,05$). La DICP (non soumis à erreur de positionnement, comme pouvaient l'être les compartiments médiaux ou latéraux) possédait un excellent coefficient de corrélation intraclass (ICC) avec la déviation standard la plus faible (DS=0,75). Le coefficient de corrélation des dif(TACM) et des dif(TACL) était également excellent; cependant, la déviation standard de la dif(TACM) (DS=1,27) était significativement plus faible que la dif(TACL) (DS=3,15) (test de Fischer, $p > 0,05$).

Mesure de la translation (Tableau 5) sur les clichés «Telos®»: la valeur des tiroirs antérieurs dans le groupe «LCA sain» était significativement inférieure au groupe «LCA rompu» (test de Kruskal-Wallis avec correction de Bonferroni) sur les valeurs absolues des tiroirs (effectifs $n = 224$) et sur les valeurs différentielles ($n = 112$). Pour les clichés «Franklin», cette différence n'était significative que pour les valeurs absolues ($n = 224$) et non pour les valeurs différentielles aux effectifs plus faibles ($n = 111$).

Les ruptures partielles arthroscopiques ($n = 10$) constituaient un groupe intermédiaire. Sur les clichés «Telos®», la valeur des tiroirs antérieurs absolus (TACM = $-1,17 \pm 3,48$; TACL = $-0,38 \pm 2,77$; TAM = $-0,13 \pm 2,48$) était significativement différente des ruptures totales, mais ne différait pas des LCA sains. Pour les tiroirs différentiels, ils constituaient un groupe significativement différent des LCA sains ou rompus (TACM = $3,07 \pm 1,89$; TACL = $3,38 \pm 2,16$; TAM = $2,66 \pm 3,15$). Ce statut indépendant et intermédiaire des ruptures partielles n'apparaissait pas sur les clichés «Franklin»: la valeur des tiroirs absolus et différentiels ne différait pas statistiquement des deux autres groupes.

L'analyse des courbes ROC a permis de définir des valeurs seuil de tiroir (*cutoff value*) en fonction des sensibilités et des spécificités. Ces valeurs n'ont été définies que

Tableau 3 Score de qualité radiologique des clichés dynamiques.

Critères de qualité des clichés dynamiques	Clichés «Telos®» 224/224 (100%)	Clichés «Franklin» 160/224 (71,4%)	Test de Fisher
Score qualité (score Beldame-Bertiaux)	4,62 sur 5 points $\pm 0,57$ (soit 92,4 sur 100)	2,49 sur 4 points $\pm 0,82$ (soit 62 sur 100)	$p < 0,05$
Dist. condylienne post	$3,09 \pm 2,63$	$8,65 \pm 7,22$	$p < 0,05$
Examens non réalisés	0	36 (16%)	$p < 0,05$
Examens irréalisables	0	16 (7,1%)	$p < 0,05$
Examens non exploitables	0	12 (5,3%)	$p < 0,05$

Dist. condylienne post = distance intercondylienne postérieure perpendiculairement à la tangente au plateau médial.

Tableau 4 Reproductibilité interobservateur (l'ensemble des mesures sont exprimées en mm).

Reproductibilité interobservateur	ICC[Inter conf à 95 %]	Moyenne des erreurs	Déviations standard	Différence significative inter-O?
Dist. Inter. Cond. Post.	0,953 [0,940–0,964]	0,141	0,75	Non, $p > 0,05$
Dif(TACM)	0,963 [0,948–0,975]	0,197	1,27 ^a	Non, $p > 0,05$
Dif(TACL)	0,815 [0,744–0,870]	0,118	3,15 ^a	Non, $p > 0,05$

ICC = coefficient de corrélation intraclasse ; Dist. Inter. Cond. Post. : distance intercondylienne postérieure.

^a Dif (TACL) > dif (TACM) avec $p < 0,05$ par test de Fischer.

Tableau 5 Mesures des translations antérieures de chaque compartiment fonction du statut arthroscopique du ligament croisé antérieur (LCA). Les données correspondent à la moyenne des deux opérateurs (S.B et J.B). Les valeurs sont les moyennes indiquées en millimètres (mm) suivi de l'écart-type.

Clichés dynamiques	« LCA sain ^a » (1)	« LCA arthroscopiquement rompu » (2)	« Rupture partielle » (3)	Test statistique ^b
Effectifs	144	70	10	
Clichés « Telos [®] » (valeur absolue)				
TACM	0,53 ± 3,37	4,87 ± 6,14	-1,17 ± 3,48	1 ≠ 2
TACL	2,40 ± 5,23	7,46 ± 6,79	-0,38 ± 2,77	2 ≠ 3
TAM	1,64 ± 3,49	6,30 ± 6,06	-0,13 ± 2,48	1 vs 3 : ns
Clichés « Franklin » (valeur absolue)				
TACM	-0,22 ± 6,01	2,77 ± 5,76	-2,18 ± 7,04	1 ≠ 2
TACL	0,22 ± 7,80	2,94 ± 7,01	1,71 ± 6,58	2 vs 3 : ns
TAM	0,25 ± 3,33	2,77 ± 4,64	-0,22 ± 2,59	1 vs 3 : ns
	32	70	10	
Clichés « Telos [®] » (différentielle)				
Dif(TACM)	2,17 ± 1,28	5,90 ± 5,25	3,07 ± 1,89	1 ≠ 2
Dif(TACL)	2,88 ± 2,09	6,69 ± 5,66	3,38 ± 2,16	2 vs 3 : ns
Dif(TAM)	2,08 ± 1,46	5,90 ± 5,20	2,66 ± 3,15	1 vs 3 : ns
	32	69	10	
Clichés « Franklin » (différentielle)				
Dif(TACM)	3,98 ± 4,22	5,09 ± 3,95	3,58 ± 2,63	1 vs 2 : ns
Dif(TACL)	6,90 ± 5,48	5,60 ± 4,26	4,83 ± 2,57	2 vs 3 : ns
Dif(TAM)	2,66 ± 1,79	3,84 ± 3,45	2,37 ± 1,33	1 vs 3 : ns

TACM : tiroir antérieur du compartiment médial ; TACL : tiroir antérieur du compartiment latéral ; TAM : tiroir antérieur moyen ; Dif (*) : différentielle des deux genoux chez un même patient ; /vs : versus ; ns : non significatif.

^a « LCA sain » regroupe les LCA arthroscopiquement sains et les genoux témoins controlatéraux (au genou symptomatique) présumés sains.

^b Test statistique : test de comparaison deux à deux selon test de Kruskal-Wallis avec correction de Bonferroni.

pour la méthode « Telos[®] », la courbe des valeurs différentielles des clichés « Franklin » n'étant pas statistiquement différente de la diagonale ($p > 0,05$). Ainsi, les mesures différentielles effectuées sur les clichés type « Franklin » n'ont pas mis en évidence de valeur diagnostique par rapport au « statut arthroscopique du LCA ». Il n'en était pas de même pour les clichés type « Telos[®] » dont les courbes absolues et différentielles étaient significativement différentes de la diagonale. Ainsi, pour une valeur seuil de 4 mm sur

le TACM, la sensibilité était de 59,4% et la spécificité de 90,4% (plusieurs valeurs choisies ont été reportées dans le [Tableau 6](#)).

Discussion

Nous avons comparé et déterminé la valeur diagnostique des deux grandes familles de clichés dynamiques de genou, tout

Tableau 6 Exemple de valeur de sensibilité et spécificité des clichés Telos® en fonction de plusieurs valeurs seuil.

VARIABLE	Valeur seuil	Se (%)	Sp (%)
TACM	4 mm	52,0	83,8
TACL	4 mm	72,0	55,5
Dif(TACM)	4 mm	59,4	90,6
Dif(TACL)	4 mm	60,8	81,2
Dif(TAM)	4 mm	55,0	93,7

comme Lerat et al. [8], mais avec des méthodes différentes. Pour ce qui est des clichés passifs, notre choix s'est porté sur l'appareil de référence ayant fait l'objet d'un grand nombre d'études [13–16] : le «Telos®». Pour cette méthode, nous avons décidé, comme Bercovy et Weber [6], Boyer et al. [13] ou Daniel et al. [7], d'utiliser, non pas une poussée de 150N (indiquée par le fabricant), mais de 250N afin d'augmenter la valeur diagnostique (diminution faux négatif) [7] et la reproductibilité des mesures [6]. Pour les clichés actifs, nous avons retenu la méthode «Franklin», identique à celle de «Lerat et al.» [8] mais avec un poids de 7 kg à la cheville au lieu des 9 kg chez Lerat et al. En effet, l'étude préliminaire que nous avons réalisée retrouvait des douleurs et des difficultés pour soulever 9 kg à la cheville sur un genou sus-jacent traumatisé (cette difficulté avait d'ailleurs déjà été mise en évidence par les auteurs). La méthode de «Bonnin» [17] (clichés actifs en appui monopodal) n'a pas été retenue car il se surajoute des forces de compression axiale diminuant le tiroir de 65 à 70% selon Uh et al. [18].

Nous avons pris le parti, comme Garces ou Lerat et al. [19,20] de prendre comme statut de référence du LCA, son aspect arthroscopique. Cependant, cette description n'est que visuelle et ne prend pas en compte l'état mécanique du LCA, comme peut l'apprécier le testing clinique. Par ailleurs, notre description arthroscopique était volontairement simple, en trois stades (LCA sain, LCA rompu ou rupture partielle), alors que Dejour et Bonnin [24] avaient montré la grande diversité d'aspects lésionnels arthroscopiques du LCA (LCA disparu, conservation postérolatérale, cicatriciel sur le LCP, cicatriciel sur l'échancrure). Notre étude ne permettait donc pas d'étudier la laximétrie en fonction des différents aspects lésionnels du LCA.

Nous avons fait le choix de mesurer le tiroir sur les deux compartiments du genou (ainsi que leur moyenne), comme Lerat et al. [20], Hooper [22], Staubli et al. [15] ou Rijke et al. [23]. Cependant, notre référentiel n'était pas la corticale postérieure du tibia, comme Lerat et al. [20], Dejour et Bonnin [24] ou Staubli et al. [15] mais la parallèle au plateau tibial médial, comme Boyer et al. [13], Franklin et al. [10] ou Hooper [22]. En effet, étant donné l'irradiation générée par ces clichés bilatéraux, il nous semblait judicieux de réduire au maximum la fenêtre radiologique sans prendre en totalité le tiers inférieur du segment jambier.

L'utilisation d'un index de qualité radiographique des clichés dynamiques constitue, à notre connaissance, une originalité de cette étude. Il nous semble pertinent, concordant avec la DICP, et de réalisation facile car fondé sur des critères simples ne nécessitant aucune mesure.

La reproductibilité interobservateur (effectuée uniquement sur le «Telos®») s'est avérée excellente sur les trois

marqueurs choisis (distance intercondylienne, dif(TACM) et dif(TACL)) avec des ICC supérieurs à 0,80. Nos résultats sont cohérents avec ceux de Lerat et al. compris entre 0,85 et 0,96 sur les valeurs absolues des tiroirs médiaux et latéraux [25] dont l'erreur inter- et intraobservateur est évaluée à 1,5 mm ± 1,6 et 0,7 mm ± 0,9 [26]. Hooper [22] retrouve une erreur moyenne intraobservateur inférieure à 1 mm pour la mesure des deux compartiments; Bercovy et Weber [6] une différence interobservateur inférieure à 1 mm et Staubli et al. [15] une précision de mesure inférieure à 0,5 mm. Cependant, notre écart-type est double sur le compartiment latéral par rapport au médial ($p < 0,05$, test de Fischer). Cela s'explique par une plus grande difficulté à identifier le bord postérieur du plateau tibial latéral (fuyant, peu corticalisée et superposé à la structure tibiale médiale) contrairement au bord postérieur du plateau médial (s'arrêtant en pente raide, corticalisé et sans superposition osseuse) [11,22]. Bercovy et Weber [6] retrouvent également cette variabilité des mesures plus importantes en latéral qu'en médial. Ces données de meilleure valeur diagnostique du compartiment médial sont également retrouvées par Lerat et al. [25], Dejour et Bonnin [24] et Bonnin [17]. Toujours dans un souci de meilleure reproductibilité, les mesures différentielles paraissent plus fiables [20,24], car permettant de s'affranchir de possibles erreurs de tracé (en traçant les repères de la même manière des deux côtés), et de s'affranchir des laxités physiologiques individuelles.

Notre étude montre la supériorité du «Telos®» par rapport au clichés «Franklin» du point de vue de leur réalisation technique : les clichés «actifs» sont plus douloureux, plus difficiles à réaliser et de moins bonne qualité que les clichés passifs. Ces inconvénients sont déjà soulignés par Lerat et al. [8] retrouvant une angulation et une rotation du genou plus difficilement reproductible, ainsi qu'un test plus pénible pour le patient. Il souligne également le manque de reproductibilité de la force générée (bras de levier et force quadricipitale variable). Ces doutes, sur les clichés dynamiques «actifs» sont rappelés par Howell en 1990 [27], qui ne trouve pas plus de translation antérieure avec une contraction maximale du quadriceps qu'avec le KT-1000 à 89N.

Notre étude montre également la supériorité des clichés «Telos®» par rapport aux clichés «Franklin», pour la valeur diagnostique du test. Pour les mesures absolues, les deux méthodes mettent en évidence une différence entre les deux groupes. Cependant, pour les mesures différentielles aux effectifs plus réduits (32 LCA sains et 70 rompus), seuls les clichés passifs mettent en évidence une différence de mesure. Or ce sont ces mesures qui, permettant de s'affranchir des erreurs de mesure et des laxités interindividuelles, ont un intérêt diagnostique.

Notre étude est particulière dans sa démarche, car nous avons recherché la valeur diagnostique des clichés dynamiques, la majorité des études ne faisant que mettre en évidence une différence significative entre une population de LCA rompus et intacts [10,17,22,26,28] (Tableau 6). Peu d'études définissent les sensibilités et spécificités de leur test [6,13,19,20,24,25] (Tableau 7).

La comparaison de la valeur des tiroirs antérieurs avec la littérature est malheureusement difficile : chaque auteur étudie les caractéristiques diagnostiques de son test, à une force de translation différente et avec des valeurs seuil

Tableau 7 Séries de la littérature ne faisant que prouver une valeur diagnostique aux clichés dynamiques.

Auteurs	Effectif LCA	Méthode	Force en N	LCA intact	LCA lésé	Remarque
Lerat et al. [8]	180 Nal 125 rompu 66 opérés	Tiroir actif	9 kg à la cheville	TACM = 3,3 ± 2,0*	TACM = 10,8 ± 3,1**	*NS/**NS
		Tiroir passif	9 kg sur la cuisse	TACM = 3,1 ± 1,9*	TACM = 10,1 ± 3,1**	
Staubli et al. [15]	53 Nal 85 rompu	Tiroir passif	Telos 200N	TACM* = 3,4 ± 2,0 TACL** = 4,0 ± 3,2	TACM* = 12,8 ± 4,1 TACL** = 15,8 ± 4,6	p < 0,05 **p < 0,05
Hooper [22]	70 Nal 70 rompu	Tiroir passif	3 kg sur la cuisse	TACM = 1,7* TACL = 2,4**	TACM = 8,3* TACL = 11,8**	p < 0,05 **p < 0,05
Bonnin [17]	281 rompu	Tiroir actif	Appui monopodal	TACM = 2,9 ± 3,2* TACL = 8,9 ± 4,65**	TACM = 6,4 ± 4,4* TACL = 12,6 ± 5,7**	p < 0,05 **p < 0,05
Franklin et al. [10]	60 rompu	Tiroir actif	6,8 kg à la cheville	TACM = 1,0 ± 3,5* TACL = 2,0 ± 4,0**	TACM = 5,5 ± 4,0* TACL = 8,5 ± 4,0**	p < 0,05 **p < 0,05

La population de genoux sains était formée par le genou controlatéral (supposé sain) de cette population. LCA : ligament croisé antérieur ; TACM : tiroir antérieur du compartiment médial ; TACL : tiroir antérieur du compartiment latéral ; NS : non significatif.

différentes, sur une population dont les caractéristiques épidémiologiques sont inconnues. Aucun auteur ne spécifie la date du traumatisme initial ou le délai accident/prise en charge, à l'exception de Panisset et al. [21]. La laxité augmentant avec le temps, il est plus facile d'obtenir des valeurs de sensibilité et de spécificité élevées sur une série de ruptures chroniques qu'aiguës [21].

Lerat et al. [8] sont les seuls à avoir comparé une méthode de tiroir active (9 kg à la cheville) avec une méthode passive (9 kg sur la cuisse) sur 371 genoux. Ils retrouvent des mesures statistiquement identiques entre les deux techniques, sans en étudier les valeurs diagnostiques et tout en soulignant les difficultés techniques de la méthode active.

Les études utilisant le « Telos® » à titre diagnostique sont peu nombreuses : Boyer et al. [13] ou Garces et al. [19] ne fournissent que des mesures incomplètes du Telos® à moins de 150N. Seuls Bercovy et Weber [6] utilisent le Telos® à 250N mais seul le repère radiologique du compartiment médial est identique aux auteurs de références [11,28,29] (et aux nôtres). Les valeurs plus élevées que les nôtres sur ce compartiment s'expliquent par la composition différente de sa population comprenant plus d'un tiers de sujets potentiellement laxes (instabilité chronique, plastie antérolatérale, genoux arthrosiques avant arthroplastie ou ostéotomie). Staubli et al. [15] utilisent le Telos® à 200N mais ne donnent que les valeurs absolues des tiroirs (plus de deux fois supérieures aux nôtres), sans traiter des différentielles ni des valeurs diagnostiques.

Pour ce qui est des clichés dynamiques actifs, Franklin et al. [10] n'ont fait que prouver la valeur diagnostique de leur méthode sur une population de 60 LCA rompus ; leur étude est, à notre connaissance, la seule utilisant cette méthode. La seule étude retrouvée sur la valeur diagnostique des clichés actifs avec poids sur le segment jambier est celle de Lerat et al. [25], (utilisant 9 kg sur une série

de 1050 patients), avec nécessairement des valeurs de tiroir différentes.

Pour ce qui est de la valeur diagnostique des clichés dynamiques dans la littérature par rapport à notre série (Tableau 8), la comparaison est là aussi très difficile. En effet, les critères de valeur seuil varient de 2 [24], 4 [6], 5 [13,20] à 6 mm [25] de différentielle selon les auteurs. La sensibilité des clichés dynamiques varie ainsi de 67 à 96 % ; pour une spécificité oscillant entre 87 et 100 %. Notre série avec une valeur seuil à 4 mm de différentielle sur le TACM (avec les clichés « Telos® ») se situe dans la fourchette basse du point de vue de la sensibilité (59,4 %) et dans la moyenne pour sa spécificité (90,6 %).

Au sein de notre étude, les ruptures partielles constituent un groupe particulier dont la laxité est intermédiaire aux deux groupes extrêmes. Pour les mesures absolues au « Telos® », ce groupe diffère des ruptures totales mais pas des LCA sains. Pour les mesures différentielles aux effectifs plus réduits, elles constituent un groupe ne différant pas des deux groupes extrêmes. Pour cette entité lésionnelle, les études radiographiques dynamiques sont rares. Robert et al. [30] sont les seuls à définir une valeur seuil sur GNRB® à 134N (de 1,5 mm avec une Se 80 % et une Sp de 87 %). Panisset et al. [21], sur 67 cas, mesurent une laxité de 4,97 mm ± 3,1 sur le « Telos® » à 150N. Ce résultat est compatible avec notre étude dont la différentielle sur le TACM est de 3,07 mm ± 1,89 sur « Telos® » à 250N.

Au total, la valeur diagnostique des clichés dynamiques (« Telos® » Se = 59 %, Sp = 90 %) apparaît faible. Elle est dans notre étude inférieure à l'examen clinique d'un expert (Se = 85 % et Sp = 94 % pour le Lachman selon la méta-analyse de Benjaminse et al. [31] en 2006), ou à l'étude de Garces et al. [19] (clinique : Se = 70 %, Sp = 98,5 % ; Telos® : Se = 67 % et Sp = 100 %). Cette valeur diagnostique est également inférieure à l'imagerie moderne par IRM dont les Se et Sp sont supérieures à 90 % (méta-analyse de Œil et al. [32] en

Tableau 8 Séries de la littérature étudiant les caractéristiques statistiques des clichés dynamiques.

Auteurs	Effectif LCA	Méthode	Force en N	LCA intact	LCA lésé	Valeur seuil	Se (%)	Sp (%)	Remarque
Dejour et Bonnin [24]	281 rompu	Tiroir actif	Appui monopodal	TACM = $2,9 \pm 3,2^*$ TACL = $8,9 \pm 4,6^{**}$	TACM = $6,4 \pm 4,4^*$ TACL = $12,6 \pm 5,7^{**}$				* $p < 0,05$ ** $p < 0,05$
		Tiroir passif	Lachman radio	TACM = $3,4 \pm 2,9$ TACL = $8,9 \pm 4,0$	TACM = $9,0 \pm 3,5$ TACL = $15,0 \pm 5,0$	2 mm	92		
Boyer et al. [13]	147 rompu	Tiroir passif	Telos® à 150N		TAM = $7,7 \pm 3,4$	5 mm	72		28 % faux négatifs
Lerat et al. [25]	563 Nal 487 rompu	Tiroir passif	9 kg à la cuisse	TACM = $2,1 \pm 2,6^*$ TACL = $10,5 \pm 3,5^{**}$	TACM = $10,4 \pm 4,3^*$ TACL = $18,47 \pm 5,1^{**}$	6 mm TACM 11,5 mm TACL	87 79	90 87	* $p < 0,05$ ** $p < 0,05$
Bercovy et Weber [6]	1502 patients	Tiroir passif	Telos® à 0, 100, 150, 200, 250 et 300 N	TACM = 0,72 TAM = 18,67 TACL = 11,34	TACM = [11,4–12,6] TAM = [28,39–29,87] TACL = [18,44–21,24]	4 mm à 250N	96	90	Série hétérogène
Garces et al. [19]	69 Nal 47 rompu	Tiroir passif	Telos 137N	TACM = $1,07 \pm 3,5^*$ TACL = $3,5 \pm 4,7^{**}$	TACM = $5,8 \pm 4,9^*$ TACL = $10,21 \pm 5,9^{**}$	3 mm	67	100	* $p < 0,05$ ** $p < 0,05$
Lerat et al. [20]	100 rompu	Tiroir passif	9 Kg à la cuisse	TACM = $2,9 \pm 2,9^*$ TACL = $9,4 \pm 5,2^{**}$	TACM = $10,2 \pm 4,8^*$ TACL = $17,3 \pm 6,2^{**}$ Dif(TACM) = $7,3 \pm 4,8$ Dif(TACL) = $7,9 \pm 5,8$	5 mm	84	90	* $p < 0,05$ ** $p < 0,05$
Notre série (112 patients)	144 Nal 70 rompu	Tiroir passif Telos® 250N		TACM = $0,53 \pm 3,37^*$ TACL = $2,40 \pm 5,23^{**}$ TAM = $1,64 \pm 3,49^{***}$	TACM = $4,68 \pm 6,14^*$ TACL = $7,46 \pm 6,79^{**}$ TAM = $6,30 \pm 6,06^{***}$	4 mm 4 mm	52 72	83,8 55,5	* $p < 0,05$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,05$
	32 Nal 70 rompu			Dif(TACM) = $2,17 \pm 1,28^*$ Dif(TACL) = $2,88 \pm 2,09^{**}$ Dif(TAM) = $2,08 \pm 1,46^{***}$	Dif(TACM) = $5,90 \pm 5,25^*$ Dif(TACL) = $6,69 \pm 5,66^{**}$ Dif(TAM) = $5,90 \pm 5,20^{***}$	4 mm 4 mm 4 mm	59,4 60,8 55	90,6 81,2 93,7	* $p < 0,05$ ** $p < 0,05$ *** $p < 0,05$
	144 Nal 70 rompu	Tiroir passif Franklin 7 kg à la cheville		TACM = $-0,22 \pm 6,01^*$ TACL = $0,22 \pm 7,80^{**}$ TAM = $0,25 \pm 3,33^{***}$	TACM = $2,77 \pm 5,76^*$ TACL = $2,94 \pm 7,01^{**}$ TAM = $2,77 \pm 4,64^{***}$				
32 Nal 70 rompu			Dif(TACM) = $3,98 \pm 4,22^*$ Dif(TACL) = $6,90 \pm 5,48^{**}$ Dif(TAM) = $2,66 \pm 1,79^{***}$	Dif(TACM) = $5,09 \pm 3,95^*$ Dif(TACL) = $5,60 \pm -4,26^{**}$ Dif(TAM) = $3,84 \pm 3,45^{***}$					NS

* La population de genoux sains était formée par le genou controlatéral (supposé sain) de cette population. LCA : ligament croisé antérieur ; TACM : tiroir antérieur du compartiment médial ; TACL : tiroir antérieur du compartiment latéral ; TAM : tiroir antérieur moyen.

2003). Cependant, il s'agit de la seule technique étudiant la valeur mécanique du LCA tout en s'affranchissant des parties molles (à la différence des laximètres cliniques).

Ainsi, en pratique courante, l'examen clinique reste la clef du diagnostic lésionnel du LCA et l'IRM l'examen complémentaire de première intention. Les clichés «Telos®» à titre diagnostique ne sont utilisés qu'en cas d'examen clinique douteux ou difficile ; ou bien en cas de discordance avec l'IRM : objectiver radiologiquement un tiroir différentiel supérieur à 4 mm est un argument fort de lésion du LCA. En revanche, la véritable place des clichés «Telos®» est pronostique ou thérapeutique, permettant au chirurgien de quantifier la laxité préopératoire et d'en suivre l'évolution en postopératoire.

Conclusion

Notre étude a permis de comparer la valeur diagnostique de deux types de clichés dynamiques fonctionnant sur deux principes différents.

Notre étude montre que la mesure des tiroirs antérieurs sur ces clichés dynamiques (tant actifs que passifs) est fiable et reproductible, surtout en utilisant le compartiment médial (plus facilement visualisé) et les mesures différentielles qui permettent de s'affranchir d'erreur de mesure et des laxités physiologiques individuelles (coefficient de corrélation intraclasse = 0,96).

Notre étude montre la supériorité des clichés passifs «Telos®» par rapport aux clichés actifs «Franklin», tant du point de vue de leur réalisation technique que de la valeur diagnostique des tests. Pour la réalisation technique, les clichés «actifs» sont plus douloureux, difficiles pour le patient et de moins bonne qualité que les clichés «passifs».

La valeur absolue des tiroirs antérieurs sur clichés «Franklin» et «Telos®» est significativement différente entre le groupe LCA sain et LCA rompu. Cependant, sur les valeurs différentielles (aux effectifs plus réduits), seuls les clichés Telos® ont une valeur diagnostique : à 250N et pour une valeur seuil différentielle de 4 mm, leur sensibilité est de 59 % et leur spécificité de 90 %.

La valeur diagnostique des clichés dynamiques dans notre étude est faible par rapport aux autres méthodes d'exploration du LCA (examen clinique et IRM). Cependant, leur intérêt en cas d'examen clinique difficile ou d'examen contradictoires peut être majeur, au même titre que leur intérêt pronostique et thérapeutique.

Conflit d'intérêt

Aucun.

Remerciements

Au Pr J. Thiebot et au Dr C. Martin, service de radiologie-imagerie médicale, ainsi qu'aux techniciens de radiologie ayant participé à ce travail.

À M. J.-F. Menard, MCU-PH biostatisticien, centre hospitalier de Rouen, pour son aide dans l'analyse statistique de ce travail.

Références

- [1] Butler DL, Noyes FR, Grood ES. Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am* 1980;62:259-70.
- [2] Noyes FR, Grood ES, Butler DL, Malek M. Clinical laxity tests and functional stability of the knee: biomechanical concepts. *Clin Orthop Relat Res* 1980;146:84-9.
- [3] Benvenuti JF, Vallotton JA, Meystre JL, Leyvraz PF. Objective assessment of the anterior tibial translation in Lachman test position. Comparison between three types of measurement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1998;6:215-9.
- [4] Wiertsema SH, van Hooff HJ, Migchelsen LA, Steultjens MP. Reliability of the KT1000 arthrometer and the Lachman test in patients with an ACL rupture. *Knee* 2008;15:107-10.
- [5] Markolf KL, Graff-Radford A, Amstutz HC. In vivo knee stability. A quantitative assessment using an instrumented clinical testing apparatus. *J Bone Joint Surg Am* 1978;60:664-74.
- [6] Bercovy M, Weber E. Évaluation de la laxité, de la rigidité et de la compliance du genou normal et pathologique. Application à la courbe de survie des ligamentoplasties. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1995;81:114-27.
- [7] Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L. Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. *Am J Sports Med* 1985;13:401-7.
- [8] Lerat JL, Moyen B, Dupre Latour L, Mainetti E, Lalain JJ, Brunet E. Mesure des laxités antérieures du genou par radiographies dynamiques et par l'arthromètre KT 1000. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1988;74(Suppl. 2):194-7.
- [9] Jorn LP, Friden T, Ryd L, Lindstrand A. Simultaneous measurements of sagittal knee laxity with an external device and radiostereometric analysis. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80:169-72.
- [10] Franklin JL, Rosenberg TD, Paulos LE, France EP. Radiographic assessment of instability of the knee due to rupture of the anterior cruciate ligament. A quadriceps-contraction technique. *J Bone Joint Surg Am* 1991;73:365-72.
- [11] Jacobsen K. Stress radiographical measurement of the anteroposterior, medial and lateral stability of the knee joint. *Acta Orthop Scand* 1976;47:334-5.
- [12] Jacobsen K. Gonylaxometry. Stress radiographic measurement of passive stability in the knee joints of normal subjects and patients with ligament injuries. Accuracy and range of application. *Acta Orthop Scand Suppl* 1981;194:1-263.
- [13] Boyer P, Djian P, Christel P, Paoletti X, Degeorges R. Fiabilité de l'arthromètre KT-1000 pour la mesure de la laxité antérieure du genou : comparaison avec l'appareil Telos à propos de 147 genoux. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2004;90:757-64.
- [14] Jardin C, Chantelot C, Migaud H, Gougeon F, Debroucker MJ, Duquenois A. Fiabilité de l'arthromètre KT-1000 pour la mesure de la laxité antérieure du genou : analyse comparative avec le Telos de 48 reconstructions du ligament croisé antérieur et reproductibilité intra- et interobservateurs. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1999;85:698-707.
- [15] Staubli HU, Noesberger B, Jakob RP. Stress radiography of the knee. Cruciate ligament function studied in 138 patients. *Acta Orthop Scand Suppl* 1992;249:1-27.
- [16] Staubli HU, Jakob RP. Anterior knee motion analysis. Measurement and simultaneous radiography. *Am J Sports Med* 1991;19:172-7.
- [17] Bonnin M. La subluxation tibiale antérieure en appui monopodal dans les ruptures du ligament croisé antérieure : étude clinique et biomécanique. Lyon I: Université Claude Bernard; 1990.
- [18] Uh BS, Beynon BD, Churchill DL, Haugh LD, Risberg MA, Fleming BC. A new device to measure knee laxity during

- weight bearing and non-weight bearing conditions. *J Orthop Res* 2001;19:1185–91.
- [19] Garces GL, Perdomo E, Guerra A, Cabrera-Bonilla R. Stress radiography in the diagnosis of anterior cruciate ligament deficiency. *Int Orthop* 1995;19:86–8.
- [20] Lerat JL, Moyen B, Jenny JY, Perrier JP. A comparison of pre-operative evaluation of anterior knee laxity by dynamic X-rays and by the arthrometer KT 1000. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993;1:54–9.
- [21] Panisset JC, Duraffour H, Vasconcelos W, et al. Analyses clinique, radiologique et arthroscopique de la rupture du LCA. Étude prospective de 418 cas. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2008;94:362–8.
- [22] Hooper GJ. Radiological assessment of anterior cruciate ligament deficiency. A new technique. *J Bone Joint Surg Br* 1986;68:292–6.
- [23] Rijke AM, Tegtmeyer CJ, Weiland DJ, McCue 3rd FC. Stress examination of the cruciate ligaments: a radiologic Lachman test. *Radiology* 1987;165:867–9.
- [24] Dejour H, Bonnin M. Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. *J Bone Joint Surg Br* 1994;76:745–9.
- [25] Lerat JL, Moyen BL, Cladiere F, Besse JL, Abidi H. Knee instability after injury to the anterior cruciate ligament. Quantification of the Lachman test. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:42–7.
- [26] Lerat JL, Moyen B, Dupre La Tour L, Mainetti E, Lalain JJ, Brunet-Guedj E. Surgery and arthroscopy of the knee. The diagnostic and prognostic value of the "Active Radiologic Lachman". In: Hackenbruch M, editor. 2nd Congress of the European Society. Springer-Verlag; 1988. p. 85–90.
- [27] Howell SM. Anterior tibial translation during a maximum quadriceps contraction: is it clinically significant? *Am J Sports Med* 1990;18:573–8.
- [28] Staubli HU, Jacobs RP, Noesberger B. Translation and rotation in knee instability: a prospective stress radiographic analysis with the knee in extension. In: Hackenbruch M, editor. Surgery and arthroscopy of the knee 2nd congress of the European Society. Springer-Verlag; 1988. p. 82–3.
- [29] Jacobsen K, Rosenkilde P. A clinical and stress radiographic follow-up investigation after Jones' operation for replacing the anterior cruciate ligament. *Injury* 1977;8: 221–6.
- [30] Robert H, Nouveau S, Gageot S, Gagniere B. A new knee arthrometer, the GNRB: experience in ACL complete and partial tears. *Orthop Traumatol Surg Res* 2009;95:171–6.
- [31] Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006;36: 267–88.
- [32] Oei EH, Nikken JJ, Verstijnen AC, Ginai AZ, Myriam Hunink MG. MR imaging of the menisci and cruciate ligaments: a systematic review. *Radiology* 2003;226:837–48.