



Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

www.em-consulte.com



MÉMOIRE ORIGINAL

Nouveau système de mesure des laxités sagittales du genou, le GNRB[®]. Application aux ruptures complètes et incomplètes du ligament croisé antérieur[☆]

A new knee arthrometer, the GNRB[®]: Experience in ACL complete and partial tears

H. Robert^{a,*}, S. Nouveau^a, S. Gageot^b, B. Gagnière^c

^a Centre hospitalier Nord-Mayenne, 53100 Mayenne, France

^b École supérieure d'électronique, informatique et automatisme (Esiea-Ouest), 53000 Laval, France

^c Institut de veille sanitaire, 35042 Rennes, France

Acceptation définitive le : 8 décembre 2008

MOTS CLÉS

Arthromètre ;
Ligament croisé
antérieur ;
KT-1000 ;
Telos ;
Rupture partielle du
ligament croisé
antérieur ;
Rupture complète du
ligament croisé
antérieur

Résumé

Fondement. – Le diagnostic de rupture du ligament croisé antérieur (LCA) (manœuvre de Lachman et ressaut) est avant tout clinique, mais la quantification du déplacement tibial reste imprécise et peu reproductible avec le KT-1000. Nous avons développé un système de mesure des laxités antérieures, le GNRB[®]. Le membre inférieur est positionné sur une coque thermoformée, le genou est fixé en rotation 0°, avec une pression de serrage enregistrée. Un vérin exerce sur la partie haute du mollet, une poussée de 0 à 250 Newton. L'effort de poussée n'est exercé qu'en l'absence de contraction des ischiojambiers. Le déplacement de la tubérosité tibiale antérieure est enregistré par un capteur avec une précision de 0,1 mm.

Hypothèse. – Nous formulons l'hypothèse que ce système est plus sensible et reproductible que d'autres systèmes de laximètres.

Matériel et méthodes. – Dans une première étude de validation, le GNRB[®] a été comparé au KT-1000, sur 20 paires de genoux sains, par deux examinateurs. Des analyses de variances ont été faites à 134 N de poussée. Dans une deuxième étude clinique, 21 ruptures complètes du LCA (LCA absent de l'échancrure) et 24 ruptures incomplètes du LCA (rupture d'un faisceau antérieur ou postérieur et LCA cicatriciel en continuité) ont été mesurées avec le GNRB[®] pour

DOI de l'article original : [10.1016/j.otsr.2009.03.009](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2009.03.009).

[☆] 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 : henri.robert@wanadoo.fr (H. Robert).

déterminer une valeur seuil de laxité différentielle entre les deux genoux à 134 N. Les études statistiques ont été fondées sur des analyses de variance et des courbes ROC.

Résultats. — Le GNRB® apparaît significativement beaucoup plus reproductible, quelle que soit l'expérience de l'examineur, que le KT-1000. Il est également indépendant du côté testé, à la différence du KT-1000. La reproductibilité de la laximétrie est significativement meilleure avec le GNRB® qu'avec le KT-1000, quelle que soit l'expérience de l'examineur, le côté examiné. Pour la valeur seuil de 3 mm de laxité différentielle dans les ruptures totales, la sensibilité était de 70 % et la spécificité de 99 % à 134 N. Pour une valeur seuil de 1,5 mm dans les ruptures partielles, la sensibilité était de 80 % et la spécificité de 87 % à 134 N.

Discussion. — La reproductibilité de la laximétrie est significativement meilleure avec le GNRB® qu'avec le KT-1000, quelle que soit l'expérience de l'examineur, le côté examiné. Les avantages du GNRB® par rapport aux autres laximètres sont : le contrôle de la position en rotation du membre examiné, l'enregistrement de la translation en l'absence de contraction des ischio-jambiers, et par rapport au KT-1000 : la reproductibilité, la vitesse constante de montée en pression, la précision et l'enregistrement automatique des mesures. Le GNRB® peut être utilisé dans le dépistage des ruptures incomplètes ou complètes du LCA et dans le suivi des ruptures du LCA opérées ou non.

Type d'étude. — Prospective, comparative. Niveau 2.

© 2009 Publié par Elsevier Masson SAS.

Introduction

Le diagnostic de rupture du ligament croisé antérieur (LCA) est clinique (test de Lachman et ressaut en valgus-rotation interne) et relativement aisé en cas de rupture totale mais très incertain en cas de rupture incomplète. La quantification de la translation antérieure est imprécise, subjective et non reproductible [1,2]. Depuis plus de 30 ans, plusieurs auteurs se sont intéressés à la mesure du déplacement du tibia par rapport au fémur, dans le but d'étudier le rôle du LCA dans la stabilité sagittale, frontale et rotatoire du genou [3,4,5]. Il était clairement apparu que la position à 20° de flexion était la plus pertinente pour objectiver le tiroir antérieur, ce qui est exactement la position du test de Lachman [6]. Les premiers systèmes de mesure de laboratoire trop encombrants, ont été avantageusement remplacés. Aujourd'hui en clinique, la quantification se fait habituellement par un laximètre, le KT-1000 (Medmetric, San Diego, Ca, États-Unis) mis au point au début des années 1980 par Daniel et al. [5], ou par le Rolimeter (Aircast, Summit, NJ, États-Unis) de Roland Jacob [7] ou par une radiographie en stress avec le Telos (GmbH, Hungen/Obbornhafen, Germany). Le KT-1000 est aujourd'hui le système le plus utilisé dans le monde en raison de sa simplicité, il constitue le laximètre de référence dans les publications, même les plus récentes [8,9]. Tous ces instruments de mesure sont opérateurs dépendants et d'une précision de l'ordre du millimètre. Aucun n'impose une standardisation du positionnement du membre lors de l'enregistrement et ne tient compte de l'état de relaxation musculaire de la cuisse d'où un risque de faux négatifs [10,11] et de mauvaise reproductibilité [12,13]. Compte tenu de ces éléments, nous avons développé, à partir de 2005, un système de mesure des laxités sagittales du genou, le GNRB®.

Les buts de cette étude ont été :

- de comparer le GNRB® au KT-1000, utilisés par deux opérateurs, sur des genoux indemnes de toute rupture ligamentaire, à 134 Newton (N) ;

- de déterminer avec le GNRB® la valeur seuil des ruptures complètes et incomplètes du LCA, à 134 N.

Matériel et méthode

Le GNRB®

Le GNRB® est un appareil de mesure du déplacement sagittal du tibia à 20° de flexion pour reproduire la position du Lachman (Fig. 1). Le patient est allongé sur une table d'examen standard, les bras le long du corps, chaque genou étant testé comparativement, en commençant par le genou sain. Le membre inférieur repose sur une coque thermoformée et adaptable à chaque longueur de jambe, le genou est en rotation 0°. L'installation du genou doit parfaitement faire correspondre le pôle inférieur de la patella avec la limite inférieure de l'appui patellaire, le niveau de l'interligne articulaire repéré au doigt doit se situer entre l'appui et le vérin. Un vérin linéaire (alimentation de 24 V) exerce plusieurs paliers de poussée au choix de l'examineur : 67, 89, 134, 150 ou 250 N sur la partie haute du mollet. Des électrodes de surface, collées à la face postérieure de la cuisse s'assurent qu'il n'y a aucune activité des tendons

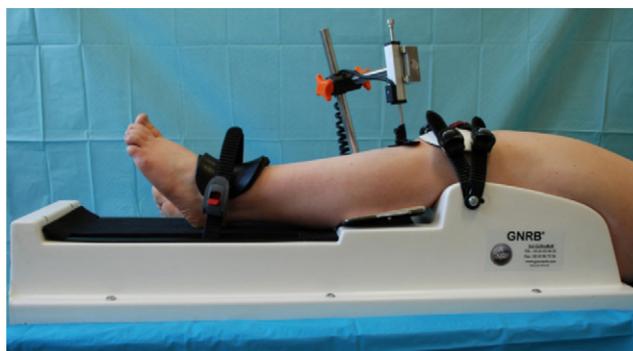


Figure 1 Présentation du GNRB®.

ischiojambiers du genou testé (effet feedback). Un capteur de déplacement (précision de 0,1 mm) enregistre la translation antérieure relative de la tubérosité antérieure du tibia par rapport au fémur. L'enregistrement des déplacements pour chaque effort jusqu'au pallier choisi détermine une courbe : déplacement/effort de poussée, dont la pente définit l'élasticité ligamentaire. Les données sont collectées sur un PC distant. Chaque patient a son propre dossier de laxité avec les conditions d'enregistrement (pression de serrage de la cuisse, efforts de poussée) et les résultats (courbes d'élasticité, laxité différentielle). L'ensemble du dispositif est piloté par un microcalculateur destiné à assurer la cohérence et l'exactitude des mesures.

Méthode

Pour la validation du GNRB®, nous avons exercé des efforts à 134 N comme le KT-1000, mais pour l'étude des ruptures cliniques du LCA nous avons appliqué un effort maximal de 250 N, considérant qu'un seuil de 200 N était nécessaire pour obtenir une bonne reproductibilité des mesures sur genoux pathologiques [3,4]. Le seuil de laxité différentiel dans le dépistage a été établi à 134 N.

Recueil des informations

Deux examinateurs entraînés (opérateur 1 avec plus de 15 ans d'utilisation du KT-1000, opérateur 2 avec 1 an d'utilisation) ont enregistré, entre novembre 2006 et mars 2007, les laxités de 20 élèves ingénieurs volontaires de 19 à 22 ans indemnes de toute lésion du LCA ou de douleur, avec le GNRB® et avec le KT-1000, selon un ordre aléatoire du laximètre et du côté. Dans les deux systèmes, les poussées exercées étaient de 67, 89 et 134 N. Les mesures ont été répétées sur plusieurs jours, (à chaque fois les 2 cotés étaient mesurés), et par les deux examinateurs, ainsi 308 paires de mesures ont pu être enregistrées chez 17 hommes et trois femmes (série 1).

Durant l'année 2007, l'opérateur 1 a étudié une population de 21 ruptures complètes chroniques opérées (série 2a). Chaque genou a été mesuré au moins trois fois de 0 à 250 N, 143 mesures ont été analysées. Il s'agissait de 15 hommes et six femmes d'âge moyen 26 ans (16 à 36 ans). Tous présentaient un test de Lachman avec arrêt mou et un ressaut franc et ont été opérés. À l'arthroscopie, il a été retrouvé une disparition complète du LCA dans l'échancrure. Durant la même période, 24 ruptures incomplètes du LCA (série 2b), secondairement opérées, ont été étudiées selon le même protocole. Chaque genou a été mesuré trois fois au minimum, par l'opérateur 1, 98 mesures ont été analysées. Il s'agissait de 19 hommes et de cinq femmes, d'âge moyen 31 ans (15 à 59 ans) présentant un Lachman avec arrêt dur retardé et un ressaut absent (7 cas) ou bâtarde (17 cas). Lors de l'intervention, il a été retrouvé une rupture isolée du faisceau antérieur dans sept cas, une rupture isolée du faisceau postérieur dans trois cas et un LCA cicatriciel et détendu dans 14 cas. Les atteintes méniscales portaient sur le ménisque médial dans neuf cas et latéral dans quatre cas.

Statistiques

Dans la série 1, des analyses de variances (carré de l'écart-type) ont été réalisées pour chaque opérateur (1 ou 2), méthode (KT-1000 et GNRB®) et côté (droit et gauche). Les

Tableau 1 Étude des variances des translations mesurées par le KT-1000 et par le GNRB® à 134 N.

	KT1000	GNRB®	P _{méthode}
	Variance (ddl)	Variance (ddl)	
Opérateur 1	88,96 (135)	69,16 (130)	0,07
Opérateur 2	173,98 (143)	59,29 (144)	< 0,001
P _{opérateur}	< 0,001	< 0,17	

La dispersion des mesures avec le GNRB® est faible, alors qu'elle est importante avec le KT-1000.

Variance : variances résiduelles intra-individus : somme des carrés résiduels en analyse de variance ; Ddl : nombre de degrés de liberté en analyse de variance ; P_{méthode} : significativité de la méthode, l'opérateur étant fixé ; P_{opérateur} : significativité de l'opérateur, la méthode étant fixée.

variances résiduelles interindividuelles (qui représentent la dispersion des données par rapport à la moyenne) ont été comparées deux à deux au moyen de tests F afin de tester les différences de précision obtenues dans chacune des configurations. Pour les séries 2a et 2b, les courbes ROC ont été utilisées et analysées pour déterminer une « valeur seuil » de laxité différentielle entre genou sain et pathologique à 250 N, La valeur seuil a été choisie pour fournir une sensibilité et une spécificité maximale, en incluant le plus de sujets.

Résultats

Série 1. Genoux sains

Il existait (Tableaux 1, 2 et 3) :

- un *effet opérateur* significatif sur l'allongement à 134 N, avec le KT-1000 mais pas avec le GNRB®, c'est-à-dire que la dispersion des résultats autour de la moyenne était faible avec le GNRB®, donc la reproductibilité inter- et intra-examinateur était bonne. Avec le KT-1000, il n'a pas été possible pour les deux opérateurs de retrouver des mesures d'étirement proches, ainsi la dispersion des résultats était forte et la reproductibilité mauvaise ;

Tableau 2 Étude comparative des variances des translations, à 134 N, mesurées avec le KT-1000. « Effet côté » du KT-1000.

	Genou droit	Genou gauche	P _{côté}
	Variance (ddl)	Variance (ddl)	
Opérateur 1	98,01 (60)	42,07 (60)	< 0,001
Opérateur 2	193,85 (63)	50,25 (62)	< 0,001
P _{opérateur}	0,004	0,25	

La dispersion des mesures est importante quel que soit l'opérateur entre les deux côtés.

Variance : variances résiduelles intra-individus : somme des carrés résiduels en analyse de variance ; Ddl : nombre de degrés de liberté en analyse de variance ; P_{côté} : significativité du côté, la méthode étant fixée ; P_{opérateur} : significativité de l'opérateur, la méthode étant fixée.

Tableau 3 Étude comparative des variances des translations, à 134 N, mesurées avec le GNRB®.

	Genou droit	Genou gauche	$P_{\text{côté}}$
	Variance (ddl)	Variance (ddl)	
Opérateur 1	64,76 (57)	64,36 (57)	0,72
Opérateur 2	55,78 (68)	62,30 (59)	0,45
$P_{\text{opérateur}}$	0,49	0,33	

Quels que soient le côté et l'opérateur, la dispersion des mesures est voisine et non significative.

Variance : variances résiduelles intra-individus : somme des carrés résiduels en analyse de variance ; Ddl : nombre de degrés de liberté en analyse de variance ; $P_{\text{côté}}$: significativité du côté, la méthode étant fixée ; $P_{\text{opérateur}}$: significativité de l'opérateur, la méthode étant fixée.

- un *effet méthode* (KT-1000 ou GNRB®) significatif à 134 N avec l'opérateur 2, le moins entraîné ($p < 0,001$) ; pour l'opérateur 1, très entraîné, l'effet méthode était à la limite de signification ($p = 0,07$). Ainsi, pour un opérateur entraîné, la dispersion des résultats autour de la moyenne était beaucoup plus faible avec les deux méthodes, mais restait moindre avec le GNRB® (Tableau 1) ;
- un *effet côté* (genou droit ou genou gauche), à 134 N, avec le KT-1000 mais pas avec le GNRB®, quel que soit l'opérateur. Les résultats avec le KT-1000 étaient dépendants du côté testé par l'examineur et non avec le GNRB® (Tableaux 2 et 3) ;
- un déplacement différentiel moyen entre les genoux, droits et gauches, à 134 N, était de 0,8 mm (IC à 95 % : 0,7–0,94 mm) pour le GNRB® et 1,34 mm (IC à 95 % : 1,1–1,56 mm) pour le KT-1000 ($p = 0,0001$).

Série 2a. Ruptures complètes du LCA

La courbe d'élasticité était non linéaire, ce qui témoignait du comportement viscoélastique des ligaments croisés (Fig. 2). Le diagnostic de rupture complète pouvait être porté si la translation tibiale différentielle à 134 N était

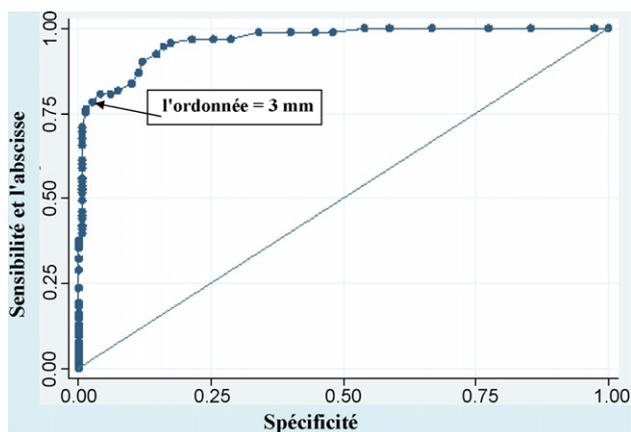


Figure 2 Courbes ROC de spécificité et sensibilité pour le GNRB dans le dépistage des lésions complètes. La valeur seuil est de 3 mm, à 134 N (Série 2a).

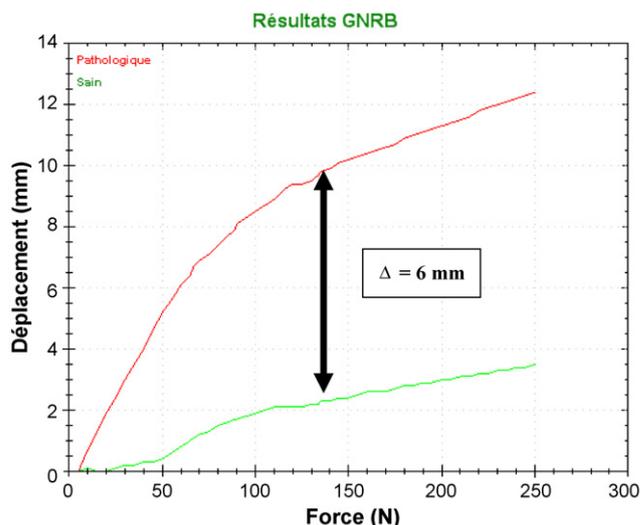


Figure 3 Rupture complète du LCA mesurée au GNRB®. La courbe verte est le genou sain et la rouge est le genou lésé, la laxité différentielle est de 6 mm.

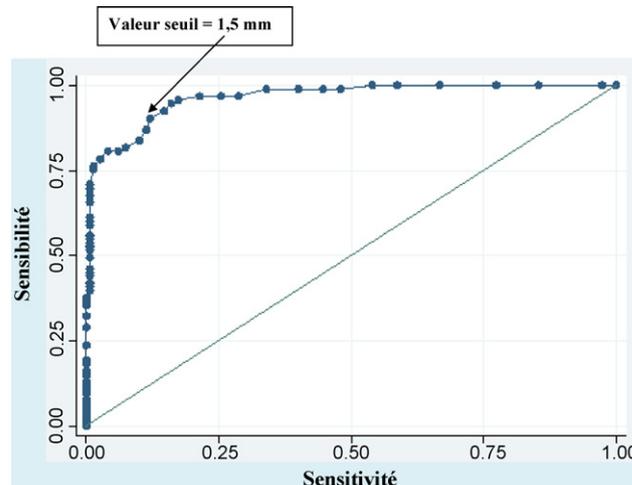


Figure 4 Courbes ROC de spécificité et sensibilité pour le GNRB® dans le dépistage des lésions partielles. La valeur seuil est de 1,5 mm à 134 N (Série 2b).

d'au moins 3 mm avec une sensibilité de 70 %, une spécificité de 99 %, ce seuil permettait d'obtenir 88 % de patients bien classés (Fig. 3).

Série 2b. Ruptures incomplètes du LCA

Dans les ruptures incomplètes du LCA, la valeur seuil de 1,5 mm de laxité différentielle, à 134 N, donnant une sensibilité de 80 % et une spécificité de 87 % a été retenue car elle permettait d'inclure 81 % des patients (Fig. 4). La Fig. 5 illustre l'enregistrement d'une rupture isolée du faisceau antéromédial et du genou sain comparativement.

Discussion

Le diagnostic de rupture du LCA repose sur le test clinique de Lachman mais la quantification du déplacement

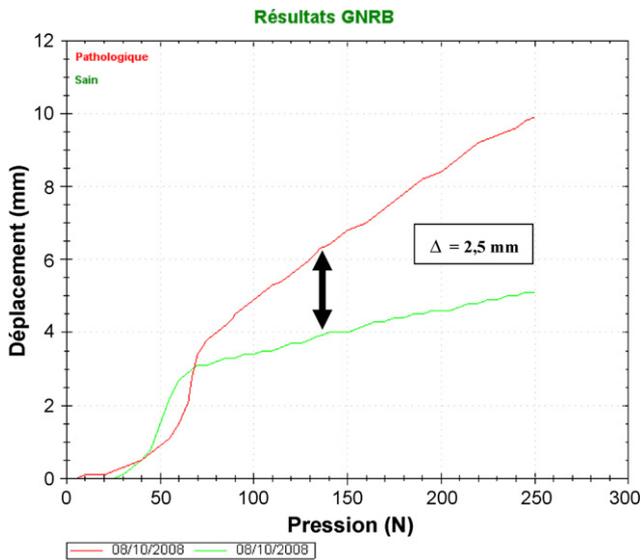


Figure 5 Rupture partielle du LCA (rupture du faisceau antéromédial) mesurée au GNRB®. La courbe verte traduit le comportement du LCA sain et la rouge celle du LCA lésé. La laxité différentielle est de 2,5 mm.

sagittal du tibia reste imprécise [2]. Elle n'est possible qu'avec un système mécanique, radiologique ou électromécanique. Le KT-1000 est probablement le laximètre le plus utilisé dans le monde, c'est pour cela que nous l'avons comparé au GNRB®. La reproductibilité de la laximétrie est significativement meilleure avec le GNRB quelle que soit l'expérience de l'examineur qu'avec le KT-1000. La littérature retrouve une bonne reproductibilité du KT-1000, au seuil de 3 mm à 134 N, sous réserve que l'examineur soit entraîné [5,10,14], ce qui n'est pas le cas s'il ne l'est pas [11]. Les erreurs tiennent autant à l'état de relaxation du sujet qu'à la qualité de l'installation [16]. Nous avons mis en évidence une mauvaise reproductibilité du KT-1000 selon le côté testé, ce qui confirme les résultats de Sernet et al. [15] et de Wiertsema et al. [2]; les différences de translation entre deux genoux sains d'un même sujet sont liées au bras dominant de l'examineur. Le KT-1000 expose à un taux de faux négatifs pouvant atteindre 50% pour certains auteurs [17], en grande partie attribué à la contraction non involontaire ou de défense des tendons ischiojambiers [5,18]. Daniel et al. avaient proposé la mesure des laxités sous anesthésie générale [5]. Avec le GNRB®, il existe un rétrocontrôle du vérin par l'activité musculaire et une absence de poussée en cas d'activité dépassant le seuil d'activité de repos. La « mise en confiance » préconisée par certains [5,18] ne nous paraît ni fiable, ni suffisante, surtout si la poussée est de 250 N et que le genou est douloureux [19]. La mesure de la translation tibiale en cas d'inactivité des tendons ischiojambiers, évaluée électriquement, majore significativement le déplacement sur chaque genou, sain ou lésé [16]. Le positionnement du genou en rotation neutre est bien standardisé avec le GNRB®, une malposition en rotation interne, influence le résultat du KT-1000 [1,20]. L'hémarthrose expose aux faux positifs avec le KT-1000 et son évacuation est également préconisée avec le GNRB® [21].

Nos résultats montrent une bonne reproductibilité du GNRB®, quels que soient l'entraînement de l'opérateur et le côté, ils peuvent s'expliquer par la précision du capteur de déplacement (0,1 mm) supérieure à celle du KT-1000 (1 mm), par la rigueur d'installation du patient (rotation neutre du genou, serrage contrôlé de la cuisse) et par le rétrocontrôle musculaire. Le temps de l'installation et des mesures d'un patient est de l'ordre de deux à trois minutes. Le Rolimeter est un laximètre voisin du KT-1000 dans sa conception et ses performances, mais il ne permet que des enregistrements à traction manuelle maximale, ce qui nous semble peu reproductible [6].

Le Telos est largement utilisé en Europe, mais sa précision est de 0,5 mm, le taux de faux négatif à 250 N est de 28% [10], et son utilisation répétée en postopératoire est impossible. Lerat et al. [22] ont développé un appareil de mesure statique de la translation antérieure du genou grâce à une radio comparative de profil avec 9 Kg de contrainte sur la cuisse; le déplacement différentiel entre le plateau tibial et le condyle de chaque compartiment est mesuré. Le seuil de laxité globale pathologique ou « Cut-off point » est de 6 mm pour le compartiment médial, avec une sensibilité de 87% et une spécificité de 90%. Les méthodes radiologiques sont très utiles en préopératoire et peuvent guider le geste chirurgical [22] mais sont irradiantes, coûteuses et les tracés de lignes sur chaque radio sont peu reproductibles.

Les systèmes électromagnétiques font appel à des capteurs fixés sur des attelles moulant la cuisse et la jambe dont les déplacements sont enregistrés par une caméra [1]. Cette méthode est très précise (0,1 mm) mais sa reproductibilité n'est pas meilleure que celle du KT-1000 [1], de plus elle nécessite un environnement sans métal et la présence habituelle d'un ingénieur. Tous ces systèmes sont très dépendants de la qualité de l'installation du membre, du relâchement du sujet et de l'expérience de l'examineur. La radio stéréométrie (RSA) permet une mesure de la micromobilité relative du tibia par rapport au fémur au laboratoire mais est invasive et non comparative en clinique [17,23]. Les mesures de translation enregistrées sont inférieures à celles obtenues par le KT-1000 car il s'agit de mesures inter osseuses et indépendantes des parties molles [24].

Le déplacement antérieur mesuré avec le GNRB® tient compte d'une éventuelle position de départ en tiroir postérieur spontané (absence de rupture du ligament croisé postérieur), puisque nous ignorons la position neutre réelle du genou examiné. Cette position de référence est supposée identique pour les deux genoux sauf en cas de rupture du ligament croisé postérieur, et nous analysons la différence de translation genou sain par rapport au genou lésé. Le déplacement mesuré en rotation 0° est un déplacement intermédiaire entre celui de chaque compartiment médial et latéral. Nous ne pouvons mesurer un déplacement spécifique de chaque compartiment, comme le permet le système radiologique de Lerat et al. [22].

À la suite des travaux de Markolf et al. [3], le « Cut-off point » est supérieur ou égal à 3 mm, à 20° de flexion et 100 N de poussée; ainsi la sensibilité est de 82% et la spécificité est de 88%. Nous avons déterminé un seuil de laxité différentielle à 134 N, pour les lésions complètes de 3 mm (Sensibilité de 70% et spécificité de 99%) et de 1,5 mm pour

les ruptures incomplètes (Sensibilité de 80 % et une spécificité de 87 %). Bercovy et al. [4], ont donné une valeur seuil de 3 mm, à 250 N avec une sensibilité de 97 % et une spécificité de 80 %, selon une méthode de radiolaximétrie. Au seuil de laxité différentielle de 3 mm, à 134 N, la sensibilité du KT-1000 pour le dépistage des ruptures complètes chroniques est de 100 % pour Rangger et al. [25], mais 72 % pour Boyer et al. [10] et 50 % pour Isberg et al. [17]. Aucun auteur, à notre connaissance, n'a défini un seuil pour les ruptures incomplètes à 1,5 mm, avec une spécificité de 87 %. Ces atteintes, suspectées par l'examen clinique (test de Lachman avec arrêt dur et ressaut ébauché ou absent) sont confirmées par le GNRB®. Il nous paraît important d'identifier ce type de lésion pour l'information du patient et sa prise en charge. Les patients opérés présentaient une rupture du faisceau antérieur isolée (7 cas), une rupture du faisceau postérieur (3 cas) ou un LCA cicatrisé, détendu et refixé en site non anatomique sur l'échancrure ou sur le ligament croisé postérieur. Ces lésions classées incomplètes notamment sur les comptes rendus d'IRM, peuvent être symptomatiques dans les sports de pivot et s'accompagner des lésions méniscales et chondrales. Leur dépistage nous semble important dans la prise en charge conservatrice ou chirurgicale. Adachi et al. ont proposé une plastie d'augmentation du LCA, en ne réparant que le faisceau rompu, les résultats semblent prometteurs [26].

Conclusion

Nous avons développé un nouveau système de mesure des laxités antérieures du genou, le GNRB®. Les avantages du GNRB® par rapport aux autres laximètres sont : le contrôle de la position en rotation du membre examiné, l'enregistrement de la translation en l'absence de contraction des ischiojambiers, et par rapport au KT-1000 : la reproductibilité, la vitesse constante de montée en pression, la précision et l'enregistrement automatique des mesures. Le GNRB® peut être utilisé dans le dépistage des ruptures incomplètes ou complètes du LCA et dans le suivi des ruptures du LCA opérées ou non.

Conflits d'intérêts

HR et SN sont co-inventeurs du GNRB®.

Références

- [1] Benvenuti JF, Valloton 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.
- [2] Wiertsema SH, Van Hoff HJA, Migchelsen LAA, Steultjens MPM. Reliability of the KT-1000 and the Lachman test in patients with ACL rupture. *The Knee* 2008;15:107–10.
- [3] Markolf KL, Graff-Radford A, Amstutz HC. In vivo knee stability. A quantitative assessment using an instrumented clinical testing apparatus. *J Bone Joint Surg* 1978;60-A: 664–74.
- [4] 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* 1995;81:114–27.
- [5] Daniel DM, Stone ML, Sachs R, Malcom L. Instrumented measurements of anterior knee laxity in patients with acute Anterior Cruciate Ligament disruption. *Am J Sports Med* 1985;13: 401–7.
- [6] Markolf KL, Kochan A, Amstutz HC. Measurement of knee stiffness and laxity in patients with documented absence of ACL. *J Bone Joint Surg* 1984;66-A:242–53.
- [7] Schuster AJ, McNicholas MJ, Wachtl SW, McGurty DW, Jacob RP. A new mechanical testing device for measuring anteroposterior knee laxity. *Am J Sports Med* 2004;32:1731–5.
- [8] Liden M, Ejerhed L, Sernert N, Laxdal G, Kartus J. Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for ACL reconstruction, randomized study with a 7-Year follow-up. *Am J Sports Med* 2007;35:740–8.
- [9] Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, et al. A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon ACL reconstruction comparing single bundle and double bundle techniques. *Arthroscopy* 2007;23: 618–28.
- [10] Boyer T, Djian P, Christel P, Paoletti X, Degeorges R. Fiabilité de l'arthromètre KT-1000 pour la mesure de la laxité antérieure du genou. *Rev Chir Orthop* 2004;90: 757–64.
- [11] Jardin C, Chantelot C, Migaud H, Gougeon F, Debroucker MJ, Duquennoy A. Fiabilité du 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 inter observateurs. *Rev Chir Orthop* 1999;85:698–707.
- [12] Holt MD, Fairclough JA. The KT-1000: is it accurate? *The Knee* 1995;2:59.
- [13] Hyder N, Bollen SR, Sefton G, Swann AC. Correlation between arthrometric evaluation of knees using KT-1000 and telos stress radiography and functional outcome following ACL reconstruction. *The Knee* 1997;4:121–4.
- [14] Berry J, Kramer K, Binkley GA, Stratford P, Hunter S, Brown K. Error estimate in novice and expert raters for the KT-1000 arthrometer. *J Orthop Sports Phys Ther* 1999;29: 49–55.
- [15] Sernert N, Helmers J, Kartus C, Ejerhed L, Kartus J. Knee-laxity measurements examined by a left-hand and a right-hand dominant physiotherapist, in patients with ACL ligament injuries and healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007;15:1181–6.
- [16] Feller J, Hoser C, Webster K. Emg biofeedback assisted KT-1000 evaluation of anterior displacement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000;8:132–6.
- [17] Isberg J, Faxen E, Brandsson S, Eriksson B, Karrholm J, Karlsson J. KT-1000 records smaller side to side differences than rsa before and after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:529–35.
- [18] Stäubli H, Noesberg B, Jacob R. Stress radiography the knee. *Acta Orthop Scand* 1991;19:172–7.
- [19] Sernert N, Kartus J, Kohler K, Ejerhed L, Karlsson J. Evaluation of the reproductibility of the KT-1000 arthrometer. *Scand J Med Sci Sports* 2001;11:120–5.
- [20] Fiebert I, Gresley J, Hoffman S, Kunkel K. Comparative measurements of anterior tibial translation using the KT-1000, the leg in neutral, internal rotation and external rotation. *J Orthop Sports Phys Ther* 1994;19:331–3.
- [21] Wright RW, Luhmann SJ. The effect of knee effusions on KT-1000 arthrometry. A cadaver study *Am J Sports Med* 1998;18:571–657.
- [22] Lerat JL, Moyer B, Cladiere F, Besse JL, Adibi H. Knee instability after injury of the ACL. Quantification of the Lachman test. *J Bone Joint Surg* 2000;82-B:42–7.

- [23] Khan R, Konives A, Rama BS, Thomas R, Amis AA. RSA can measure ACL graft stretching and migration. *Clin Orthop* 2006;448:139–45.
- [24] Un BS, Beynnon BD, Churchill DL, Haugh LD, Risberg MA, Fleming BC. A new device to measure knee laxity during weightbearing and non weightbearing conditions. *J Orthop Res* 2001;19:1185–91.
- [25] Rangger C, Daniel DM, Stone ML, Kaufman K. diagnostic of acl disruption with kt-1000 arthrometer measurements. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993;1:60–6.
- [26] Adachi N, Ochi M, Uchio Y, Sumen Y. Anterior cruciate ligament augmentation under arthroscopy. A minimum 2-year follow-up in 40 patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 2000;120:128–33.