

Reconstruction du ligament croisé antérieur du genou : simple ou double faisceau ?

Reconstruction of the knee anterior cruciate ligament : single or double bundle ?

K. Cermak¹, B. Baillon¹, K. Bruynseels¹, P. Salvia², V. Feipel², P. Remy³, M. Vancabeke¹ et M. Rooze^{1,2}

¹Service d'Orthopédie-Traumatologie, Cliniques Universitaires de Bruxelles, Hôpital Erasme,

²Laboratoire de Biomécanique et d'Organogenèse, Faculté de Médecine ULB,

³Service de Kinésithérapie, Cliniques Universitaires de Bruxelles, Hôpital Erasme

RESUME

Le ligament croisé antérieur (LCA) est composé de deux faisceaux distincts, l'antéro-médial (AM) et le postéro-médial, chacun ayant son rôle propre au cours de l'amplitude articulaire du genou. Les reconstructions ligamentaires de LCA se sont depuis toujours concentrées sur la récupération de la stabilité antéro-postérieure et la restauration du faisceau AM. Les résultats globaux de ces ligamentoplasties à simple faisceau sont bons. Néanmoins, depuis une dizaine d'années, des techniques de reconstruction à double faisceau se sont développées, visant à mieux reproduire l'anatomie du LCA. Malgré le nombre grandissant de séries comparant les techniques à simple et double faisceaux, y compris des études contrôlées randomisées, il n'existe toujours pas d'évidence de supériorité des plasties à double faisceau. Par ailleurs, beaucoup de séries sont critiquées car n'utilisant comme moyen d'évaluation de la stabilité rotatoire que le test clinique subjectif du ressaut rotatoire. Parmi les moyens d'évaluation plus objectifs de la rotation tibiale, les systèmes d'évaluations tridimensionnels optoélectroniques se sont révélés intéressants et ont été utilisés dans plusieurs publications traitant des reconstructions de LCA à simple faisceau. Notre service d'Orthopédie-Traumatologie utilise les reconstructions à double faisceau depuis quelques années. Nous avons réalisé une étude préliminaire prospective randomisée, comparant les techniques à simple et double faisceaux, avec évaluation des données cliniques, et par analyse optoélectronique tridimensionnelle de la marche.

Rev Med Brux 2011 ; 32 : S 90-6

ABSTRACT

Anatomical and biomechanical studies have shown that the anterior cruciate ligament (ACL) consists of two distinct bundles, the anteromedial (AM) and posterolateral. Each bundle has its specific role during the motion of the knee. ACL reconstruction techniques have focused on the restoration of the anteroposterior stability by substituting the more isometric AM bundle. Although these ligamentoplasties provide overall good results, in the last ten years double-bundle ACL reconstruction techniques have been developed, to better replicate the ligament anatomy. Despite the growing number of published studies, including randomized controlled trials comparing single bundle and double bundle reconstructions, there is still a lack of evidence of any superiority of the double-bundle technique. Furthermore, many series are criticized for their poor assessment of rotational stability, using most of the time subjective pivot shift clinical testing. Among the methods available to measure tibial rotation, 3-D optoelectronic evaluation is an attractive tool and has been used in some studies reporting rotational measurements after ACL single-bundle reconstruction. Our Department of Orthopaedics and Traumatology has been using double-bundle techniques for a few years. We conducted a preliminary prospective randomized study, in order to compare single and double-bundle techniques by clinical and optoelectronic evaluations.

Rev Med Brux 2011 ; 32 : S 90-6

Key words : knee, anterior cruciate ligament, ligamentoplasty, double-bundle ligamentoplasty

La fréquence des reconstructions du Ligament Croisé Antérieur (LCA) a augmenté de 30,5 % en Belgique en dix ans¹. La technique conventionnelle reconstruit simplement le faisceau Antéro-Médial (AM) du ligament, avec des résultats globalement bons, mais avec persistance d'un ressaut rotatoire postopératoire dans près de 20 % des cas. Des études sur cadavre suggèrent le bénéfice de reconstruire en sus du faisceau AM habituel, le second faisceau Postéro-

Latéral (PL) constitutif du LCA normal, pour améliorer la stabilité rotatoire et antéro-postérieure^{2,3}. Les bénéfices cliniques des reconstructions à double faisceau sont moins clairs. L'équipe du genou du service d'Orthopédie-Traumatologie de l'Hôpital Erasme réalise environ 300 ligamentoplasties de LCA par an, et les ligamentoplasties à double faisceau sont pratiquées depuis quelques années.

Le LCA normal comporte deux faisceaux, AM et PL, comme initialement décrit par les frères Weber dès 1836⁴. Ces faisceaux sont individualisés chez le fœtus dès la 20^{ème} semaine de vie intra-utérine⁵. Certains auteurs ont rapporté l'existence d'un troisième faisceau intermédiaire, difficilement séparable du faisceau PL⁶. La division anatomique entre faisceaux AM et PL se base sur la mise en tension des faisceaux lors du cycle de flexion-extension du genou, le faisceau AM se tendant en flexion, le faisceau PL se tendant de façon maximale en extension. La dénomination des faisceaux est basée sur leur insertion tibiale respective. L'ancrage tibial du faisceau PL est plus latéral et postérieur par rapport à l'insertion du faisceau AM. Les origines et les insertions respectives des deux faisceaux confèrent au LCA une disposition hélicoïdale.

Le LCA est le frein primaire du tiroir antérieur, supportant environ 87 % de la charge^{7,8}. Son rôle, important tout au long de l'amplitude de flexion-extension, est le plus significatif entre 15 et 30°. Le LCA est également un frein secondaire à la rotation tibiale interne, surtout en extension, le frein primaire étant représenté par le complexe formé par les structures médiales (ligament collatéral médial, ligament oblique postérieur et capsule articulaire). Les freins secondaires ligamentaires à la translation tibiale antérieure sont le ligament collatéral médial, le ligament croisé postérieur (LCP), et le ligament collatéral latéral. En cas de rupture du LCA, la charge se répartit comme suit : 46,8 % pour le collatéral médial, 29,6 % pour le LCP et 23,6 % pour le collatéral latéral. Les ménisques agissent également comme freins secondaires à la translation tibiale antérieure⁹.

Pris dans sa globalité, le LCA est tendu en extension complète et entre 70° et 90° de flexion ; il se détend entre 30° et 60° de flexion. En réalité, du fait de son anatomie spiralée, à toute position de flexion-extension certaines fibres sont en tension. Les variations de longueur lors de la flexion-extension sont plus importantes pour le faisceau PL qui diminue en moyenne de 7,1 mm lors du passage de 0° à 90° de flexion, alors que le faisceau AM n'augmente en moyenne que de 3,6 mm. Le faisceau AM tend donc plus vers l'isométrie que le faisceau PL. Lors de l'application d'un tiroir antérieur sur le tibia, le faisceau PL subit les tensions les plus élevées entre 0° et 45° ; il supporte encore 35 % de la charge à 90° de flexion. Les contraintes supportées par le faisceau AM sont maximales entre 60° et 90° mais varient beaucoup moins dans toute l'amplitude du mouvement, ce qui confirme le caractère beaucoup plus isométrique du faisceau AM¹⁰. La force agissant sur le ligament est plus horizontale et quasiment sagittale pour le faisceau AM, ce faisceau résiste donc mieux aux forces appliquées antérieurement sur le tibia, et ce de 0° à 90° de flexion. L'orientation moins horizontale et plus divergente dans le plan coronal du faisceau PL lui confère préférentiellement un rôle dans la résistance aux contraintes rotatoires. A cet égard, lors de l'application d'une force en rotation interne et valgus (équivalent d'un test du ressaut rotatoire), la laxité varie peu de celle d'un genou intact si le faisceau AM est sectionné ; la laxité est plus importante lorsque le faisceau PL est sélectivement déficient¹¹.

En résumé, le faisceau AM est le « guide » du LCA, freinant la translation tibiale antérieure tout au long de la flexion, particulièrement en fin de flexion. Le faisceau PL a un rôle prépondérant dans la stabilité antéropostérieure proche de l'extension, et dans la stabilité rotatoire. Chacun des faisceaux a donc un rôle propre important ; après rupture du LCA, la reconstruction chirurgicale des deux faisceaux

est une idée séduisante.

ARGUMENTS EN FAVEUR DE LA RECONSTRUCTION à DOUBLE FAISCEAU

La plupart des études évaluant l'efficacité des reconstructions du LCA se sont centrées sur la correction de la laxité antérieure. Cependant, il n'existe pas de corrélation négative entre la laxité antérieure résiduelle mesurée et la satisfaction des patients. Par contre, la satisfaction est très nettement moins bonne lorsque persiste un test de pivot positif^{12,13}. Le succès à long terme d'une reconstruction du LCA semble donc plus conditionné par le contrôle du mécanisme de pivot, que par l'obtention d'une correction parfaite de la translation antéro-postérieure. Les études in vitro suggèrent qu'il est impossible de restaurer totalement la stabilité rotatoire par reconstruction à simple faisceau¹⁴. Celle-ci est mieux contrôlée, sur cadavre, par double faisceau¹⁵ et est plus proche de la biomécanique normale du LCA natif¹⁶. Pour pallier aux résultats cliniques insuffisants à long terme des ligamentoplasties mono-faisceau, en particulier sur l'instabilité rotatoire, pour répondre à la demande de patients de plus en plus exigeants, désireux de reprendre en toute stabilité leur sport à pivot au même niveau qu'avant le traumatisme, et pour tenter d'améliorer l'efficacité des reconstructions du LCA dans la prévention de la gonarthrose, de plus en plus d'auteurs proposent de réaliser des reconstructions à double faisceau. La première description de la technique revient à William Mott qui publie en 1983 la technique qu'il utilise alors depuis cinq ans, baptisée « STAR » (*Semi Tendinosus Anatomic Reconstruction*)¹⁷. Par arthrotomie, il place le tendon du demi-tendineux dans deux tunnels tibiaux et deux tunnels fémoraux. Le premier à publier ses résultats de ligamentoplastie à double faisceau est Zaricnyj, en 1987¹⁸ : ses 14 patients ont un test de pivot négatif à deux ans de recul. Rosenberg décrit en 1994 la première reconstruction par voie arthroscopique, à l'aide du tendon du demi-tendineux fixé dans deux tunnels fémoraux par deux Endobuttons[®] et attachés ensemble dans un tunnel tibial¹⁹. La plupart des techniques décrites ensuite dérivent de modifications de cette technique de Rosenberg.

ASPECTS TECHNIQUES

Les techniques de reconstruction à double faisceau du LCA sont multiples. La variabilité du nombre de tunnels utilisés est en particulier frappante. L'étude de Zantop *et al.*²⁰ réalisée auprès de 22 chirurgiens américains pratiquant fréquemment des ligamentoplasties à double faisceau et publiant sur le sujet, montre que 91 % pratiquent la reconstruction avec deux tunnels tibiaux et deux tunnels fémoraux. Le dédoublement fémoral et tibial de l'implantation osseuse des greffons mime en effet au mieux les insertions du LCA natif. Les défenseurs d'un tunnel fémoral et ou tibial unique avancent l'argument de la préservation du capital osseux. Multiplier les tunnels représente également, selon eux, une augmentation importante du risque d'erreur de placement, source d'échec dans les ligamentoplasties à simple faisceau.

Pour ce qui concerne les tunnels fémoraux, Mae *et al.* ont montré, sur cadavre, un meilleur contrôle de la laxité tibiale antérieure après reconstruction à deux tunnels fémoraux²¹. Hamada *et al.*, après une étude clinique à deux ans de recul, tendent vers les mêmes conclusions sans cependant trouver de différence statistiquement significative²². Parmi les options possibles, existe également celle de la technique dite « *over the top* ». Le principe est de faire passer le greffon par le point postéro-supéro-externe (dit « *over the top* ») et de l'amarrer postérieurement sur le condyle latéral

à l'aide d'une contre incision latérale, pour le faire ensuite repénétrer dans la cavité articulaire par un tunnel fémoral, en vue d'une fixation tibiale. Deux faisceaux sont ainsi créés, avec deux directions fémorales distinctes. Marcacci *et al.* qui décrivent cette technique en laissant les tendons de la patte d'oie insérés distalement, mettent en avant l'avantage non négligeable de l'absence de surplus de coût grâce à la non nécessité de matériel de fixation²³. Cette technique a été validée *in vitro*²⁴. Le bénéfice en terme de stabilité tibiale antérieure et rotatoire, procuré par l'adjonction d'un second tunnel fémoral, n'est donc pas clairement prouvé. Nous verrons plus loin que c'est surtout le positionnement anatomique de ce second tunnel fémoral qui représente le facteur déterminant pour améliorer la stabilité rotatoire.

Les arguments en faveur du dédoublement du tunnel tibial sont d'abord le caractère très élargi de l'insertion tibiale normale du LCA ; d'autre part, pour que chaque faisceau puisse jouer son rôle propre, la logique voudrait qu'ils aient chacun un tunnel tibial propre. La série clinique de Yasuda *et al.*²⁵ compare trois groupes de patients : le groupe I, méthode à simple faisceau ; le groupe II, méthode à double faisceau utilisant un tunnel tibial (dite « non anatomique ») ; et le groupe III, méthode à double faisceau utilisant deux tunnels tibiaux (dite « anatomique »). Contrairement à leurs premières évaluations court terme, les auteurs observent à deux ans de recul un bénéfice en faveur de la reconstruction anatomique à deux tunnels, qui procure une meilleure stabilité translationnelle antérieure à 30° de flexion et entraîne moins de tests du pivot positifs.

Comme pour les reconstructions à simple faisceau, les tunnels fémoraux peuvent être creusés de dehors en dedans ou de dedans en dehors ; dans ce dernier cas, ils peuvent être forés via le point d'entrée arthroscopique antéromédial ou via le tunnel tibial. Dans l'étude de Zantop *et al.* déjà citée²⁰, étant donné que beaucoup de « reconstructeurs » à double faisceau préfèrent la technique transtibiale pour le tunnel fémoral du faisceau AM, 67 % des chirurgiens experts commencent par réaliser les tunnels tibiaux ; 75 % débutent par le forage du tunnel tibial AM. Le risque, lors du creusement transtibial des deux tunnels fémoraux, est de forer un tunnel PL dans le même plan que le tunnel AM²⁶. C'est probablement la raison pour laquelle beaucoup d'auteurs préfèrent creuser au moins leur tunnel PL par le port arthroscopique antéromédial. La technique de dehors en dedans permet par ailleurs à une plus grande portion de la greffe de résider dans le tunnel osseux, procurant ainsi une meilleure intégration du greffon.

Une des causes majeures de révision des plasties à simple faisceau étant la position incorrecte des tunnels tibiaux et fémoraux, le positionnement de ceux-ci pour les plasties à double faisceau s'avère d'une importance capitale. Aucun consensus n'existe quant à la position optimale des tunnels. L'intérêt s'est donc porté sur les repères anatomiques des insertions du LCA natif et de ses faisceaux^{26,27}. Le centre de l'insertion tibiale du LCA natif est très constant. Il se situe en moyenne à 7,1 mm (\pm 0,9 mm) antérieurement par rapport au pied du LCP²⁸, c'est le repère utilisé lors du forage d'un tunnel tibial unique. Lors du creusement du tunnel tibial AM, on recommande de placer le viseur plus en avant, le rapprochant ainsi de la corne antérieure du ménisque latéral, sans s'éloigner du pied du LCP de plus de 8 mm antérieurement²⁹. Un viseur adapté, permettant d'assurer un pont osseux suffisant entre les deux tunnels tibiaux et la convergence adéquate des tunnels tibiaux est utilisé. La position du tunnel tibial PL est plus proche du LCP qu'en cas de tunnel tibial unique. L'orientation du tunnel tibial PL forme un angle moyen de 40-80° avec le plateau tibial. L'angle

d'orientation du tunnel tibial AM dans le plan sagittal est en moyenne de 45° à 55-60°.

Il n'y a pas de consensus pour ce qui concerne les surfaces respectives d'insertion fémorale des contingents AM et PL. Pour certains auteurs, les surfaces sont égales, pour d'autres celle du faisceau AM représente en moyenne 67 % de la surface, celle du faisceau PL, 33 %³⁰. Par rapport à l'insertion du faisceau AM, le faisceau PL se situe en avant et en bas, lorsque le genou est fléchi à 90°. La distance entre ces deux centres d'insertion est en moyenne de 12,5 mm. Il y a un certain consensus quant au positionnement du tunnel AM²⁰. Son centre est situé environ 5 mm en avant du bord postérieur du condyle latéral. La variabilité du positionnement est beaucoup plus importante pour le tunnel PL, probablement du fait que la localisation du tunnel fémoral AM des plasties à double faisceau est identique à celle du tunnel fémoral des reconstructions mono-faisceau. Kim *et al.*³¹ proposent une méthode pour localiser la position idéale du tunnel fémoral PL : l'intersection de deux lignes, la ligne suivant l'axe longitudinal de l'insertion du LCA natif et la ligne verticale passant par le point de contact entre le plateau tibial et le condyle fémoral sur genou fléchi à 90°, offre pour eux un point de visée facile pour le centre du tunnel PL. Pour Kondo *et al.*³², le centre du tunnel fémoral PL se situe, sur cette ligne verticale, à environ 5 à 8 mm du rebord de la surface cartilagineuse. Une position non anatomique du tunnel fémoral PL, trop profondément située dans l'échancrure, entraîne plus d'instabilité, lors de contraintes en translation antérieure, valgus et rotation interne.

La méthode du quadrant horaire est souvent utilisée pour repérer non seulement la position mais aussi l'orientation des tunnels fémoraux. Après avoir repéré la position du point d'entrée du tunnel fémoral AM, ce dernier peut être foré, genou fléchi à 120° avec un positionnement à 11 h pour un genou droit et à 13 h pour un genou gauche. Le tunnel fémoral PL est foré en position plus oblique, à 9 h 30 ou 10 h pour un genou droit (et 14 h 30 ou 14 h pour un genou gauche). Le forage de ce tunnel PL peut être facilité par l'utilisation d'un viseur endofémoral adapté, qui assure l'orientation divergente des tunnels et garantit le pont osseux.

Le diamètre moyen des greffons et des tunnels réalisés est assez constant, le faisceau AM étant en moyenne de 6-8 mm de diamètre et le faisceau PL de 5-7 mm. Pour ce qui concerne le type de greffons utilisés, 95 % des experts dans l'étude de Zantop *et al.* déjà citée²⁰ utilisaient en 2007 des tendons de la patte d'oie. En effet, pour la reconstruction à double faisceau, il est aisé de disposer de deux tendons, recréant aisément deux faisceaux ; le passage de ces tendons est facile malgré des tunnels plus étroits ; pour certains auteurs, les tendons sont doublés³³, voire quadruplés. Le faisceau AM est en général reconstruit à l'aide du semi-tendineux, et le faisceau PL à l'aide du gracile, mais d'autres greffons sont possibles, y compris des allogreffes de tibial antérieur.

La fixation fémorale est le plus souvent corticale de type Endobutton® ; la fixation tibiale, par vis d'interférence, éventuellement complétée d'une fixation extra corticale par agrafe ou suture osseuse. Les méthodes de fixation représentent l'essentiel du coût supplémentaire pour reconstruction à double faisceau. En Belgique ce supplément est à charge du patient.

La tension appliquée lors de la fixation de chaque faisceau est évidemment cruciale. Il n'existe étonnamment aucun consensus concernant l'angle de flexion du genou auquel devrait être fixé chaque greffon. La biomécanique

native des faisceaux suggère une légère flexion (20° à 30°) pour la fixation du faisceau PL, et plus de flexion (20° à 45°) pour le faisceau AM. Il est clair que la fixation du faisceau PL, qui est anisométrique, doit être faite proche de l'extension. Il n'existe pas non plus de consensus sur le nombre de cycles à réaliser lors du cyclage avant fixation (entre 5 et 30 cycles), ni sur la tension à appliquer sur le greffon au moment de la fixation (entre 50 N et 67 N, le plus souvent « traction manuelle maximale »).

COMPLICATIONS POTENTIELLES DES TECHNIQUES À DOUBLE FAISCEAU

L'hémarthrose postopératoire serait plus fréquente après ligamentoplastie à double faisceau, attribuée aux forages d'un nombre plus important de tunnels, imposant pour certains auteurs la mise en place d'un drain postopératoire. Dans 10 à 15 % des cas, le tendon gracile est trop grêle que pour être utilisé comme faisceau propre, ne permettant pas de réaliser la technique initialement prévue. Une fracture du pont osseux peut se produire entre deux tunnels, ce risque étant fortement réduit par l'utilisation de viseurs adaptés. Un conflit peut survenir entre le greffon AM, plus antérieurement situé que dans la technique mono-faisceau, et le toit de l'échancrure. Il faut donc toujours vérifier l'absence de ce problème en extension, et pratiquer un éventuel élargissement de l'échancrure. La multiplication des tunnels osseux augmente également le risque de placement inadéquat de ces tunnels. Des fractures supracondyliennes du fémur ont été rapportées. Enfin, la reprise chirurgicale est difficile, suite à la présence de deux tunnels. Si la position des tunnels osseux lors de la première intervention est adéquate, la révision pourra se faire via les mêmes tunnels, en utilisant un greffon autologue hétéro-latéral ou une allogreffe. Si par contre le mauvais positionnement ou une fracture des tunnels est la cause de l'échec, l'attitude conseillée en cas de révision précoce est de remplir, lors d'un premier temps opératoire, les tunnels de greffons osseux. La reconstruction de reprise se fera ensuite dans un second temps chirurgical par une ligamentoplastie à simple ou double faisceau.

EXPERIENCE DU SERVICE

Nous avons réalisé une étude clinique comparant prospectivement et de façon randomisée les résultats de ligamentoplasties à simple et à double faisceau, avec notamment étude pré- et postopératoire (à trois mois) isocinétique de la force musculaire sur Cybex®. Les patients ont également eu une évaluation fonctionnelle pré- et postopératoire de la marche par système optoélectronique Vicon® et tapis GaitRite®1.

Neuf patients ont été inclus dans chaque groupe. Toutes les ligamentoplasties ont été réalisées à l'aide de tendons de la patte d'oie (semi-tendineux et gracile). Dans la technique à simple faisceau, les deux tendons ont été suturés deux à deux puis repliés sur eux-mêmes afin de former un greffon à quatre brins. La fixation fémorale était réalisée par Endobutton®, la fixation tibiale après cyclage 30 fois par vis résorbables d'interférence Biosorb®. Pour la ligamentoplastie à deux faisceaux, chacun des tendons prélevés était replié sur lui-même, formant un faisceau à deux brins. Le premier temps arthroscopique était le forage des deux tunnels fémoraux, par voie antéro-médiale et non par voie transtibiale comme dans la technique à simple faisceau. Le tunnel AM était le premier réalisé, à environ 5mm du bord postérieur du condyle latéral, à 11 heures pour un genou droit et à 13 heures pour un genou gauche. Le tunnel PM était ensuite creusé, latéralement et légèrement antérieurement par

rapport au précédent, en position 9 h 30 pour un genou droit et 14 h 30 pour un genou gauche. Deux tunnels tibiaux étaient ensuite réalisés à l'aide du viseur adapté. Les fixations fémorales étaient pratiquées à l'aide de deux Endobuttons®. Après cyclage séparé des deux faisceaux, la fixation du PL était réalisée proche de l'extension, la fixation de l'AM à 70° de flexion, à l'aide de vis d'interférence. L'intervention se terminait par un contrôle arthroscopique de la bonne tension des ligamentoplasties, s'assurant également de l'absence de conflit en extension.

Tous les patients étaient sportifs, et la lésion du LCA résultait dans 89 % d'un accident de sport. La durée de l'intervention était statistiquement plus longue pour la reconstruction à double faisceau (durée moyenne après simple faisceau : 37 minutes ; après double faisceau : 54 minutes, $p < 0.001$). Il n'y avait pas de différence quant à la durée d'hospitalisation (durée moyenne de un jour dans les deux groupes). Tous les patients ont eu une bonne correction de stabilité tibiale antérieure. Nous n'avons observé aucune différence significative en terme de douleur postopératoire, de score de Lysholm ou IKDC, pour ce qui concerne les paramètres isocinétiques, ou pour les paramètres spatiotemporel, cinétiques et cinématiques objectifs, et notamment aucune différence d'amplitude de rotation tibiale entre les deux groupes étudiés lors de marche à vitesses lente et rapide. Il faut cependant rester prudent dans l'interprétation des résultats, validés uniquement sur Vicon® pour la flexion-extension du genou. En vue de mesurer la rotation tibiale en situation de stress clinique et de pouvoir comparer nos résultats à ceux de la littérature, nous avons constitué une base de données normales de tests dynamiques réalisés chez des sujets normaux lors d'épreuves de provocation. L'évaluation à deux ans de nos patients selon ces critères est actuellement en cours.

DISCUSSION

Nous avons colligé dans la littérature une trentaine d'études, rien que pour les études de niveau I à III, comparant les techniques à simple et double faisceau¹. La majorité des séries retrouvent une durée significativement plus longue pour les reconstructions à double faisceau. Comme dans notre étude, les essais prospectifs randomisés ne rapportent aucune différence significative en termes de douleur postopératoire ou de score de Lysholm, de Tegner et d'IKDC³⁴⁻³⁷. Les deux études comparatives s'étant intéressées à mesurer les amplitudes articulaires en postopératoire n'ont retrouvé ni déficit de flexion, ni différence significative d'amplitudes de flexion, avec un suivi respectif de 25 et 19 mois^{35,36}. Diverses études évoquent une tendance à une proportion un peu plus grande de flessum dans les groupes double faisceau, du fait peut-être de l'hémarthrose majorée après le forage de quatre tunnels. L'hémarthrose pourrait être également à l'origine d'une fibrose de l'échancrure causant une contracture en flexion. Pour ce qui concerne la récupération de la force musculaire, les études comparant les techniques à simple et double faisceau n'ont réalisé l'analyse isocinétique qu'en postopératoire, avec une bonne récupération de force des fléchisseurs et du quadriceps, sans différence entre simple et double faisceau³⁸⁻⁴¹ ; seuls Fujita *et al.* retrouvent à 32 mois un bénéfice de la technique à double faisceau en terme de récupération de la force musculaire, tant des extenseurs que des fléchisseurs⁴².

Pour ce qui concerne la restauration de la stabilité tibiale antérieure, les résultats de la littérature sont contradictoires, avec selon certains auteurs une meilleure restauration de stabilité antérieure après double faisceau, selon d'autres pas de différence. Parmi les études

comparatives de niveau I, seule celle de Muneta *et al.*³⁵ met en évidence un gain de stabilité antérieure après double faisceau. La méta-analyse de Meredick *et al.*⁴³ va dans le même sens, puisque la moyenne des laxités différentielles était de 0,6 mm plus proche de la normale après double faisceau, qu'après ligamentoplastie à simple faisceau ($p < 0,05$).

L'apport principal espéré de la ligamentoplastie à double faisceau est une meilleure restauration de la stabilité rotatoire. A cet égard, il n'y a à nouveau pas d'unanimité dans la littérature, même si de nombreuses études révèlent une proportion moindre de test de pivot persistant après technique à double faisceau. La méta-analyse de Meredick *et al.*⁴³ clarifie quelque peu la question : il existe une tendance non significative, à plus de tests du ressaut « normaux » ou « presque normaux » après technique à double faisceau. Il faut reconnaître que ce test du ressaut rotatoire reste très subjectif. Il n'existe encore actuellement aucune méthode quantitative, facilement accessible au clinicien, pour mesurer le phénomène du pivot ou une quelconque stabilité rotatoire du genou. A cet égard, l'analyse objective de la marche représente un sérieux espoir de quantification de la stabilité rotatoire. Chez des patients présentant une rupture du LCA, Andriacchi *et al.*⁴⁴ et Georgoulis *et al.*⁴⁵ rapportent des amplitudes de rotation tibiale augmentées, lors de l'analyse quantifiée de la marche à vitesse normale, avec restauration partielle après plastie du LCA⁴⁵. Pour évaluer la stabilité rotatoire lors de la pratique sportive, il convient cependant de réaliser des manœuvres de provocation, sans prendre de risque pour le patient et sa ligamentoplastie – dans notre étude, ces tests ne pouvaient être réalisés à trois mois, mais sont à présent réalisés à deux ans. Il n'existait au moment du début de notre étude aucune publication évaluant ainsi les résultats de la reconstruction du LCA à double faisceau. Depuis, trois études utilisant un système d'évaluation optoélectronique semblable, avec manœuvres de provocation, sont parues^{16,46,47}. Deux de ces études comparent les ligamentoplasties à simple et double faisceau^{16,47}. Les auteurs ne rapportent pas de différence en terme d'amplitude de rotation maximale ; Misonoo *et al.*¹⁶ concluent à une légère surcorrection de la rotation tibiale dans le groupe opéré, quelle soit la technique, par rapport à un groupe contrôle sain.

Les techniques peropératoires de navigation peuvent donner des renseignements intéressants sur la restauration immédiate de la stabilité du genou. Colombet *et al.* avaient ainsi prouvé que l'amplitude de rotation mesurée sur cadavre par navigation, au cours de l'application d'un test du ressaut rotatoire, était nettement diminuée après reconstruction du faisceau AM ; l'adjonction du faisceau PL au faisceau AM améliorerait encore légèrement ce contrôle rotatoire ; l'effet de la reconstruction du faisceau PL sur la translation tibiale antérieure était par contre peu important, en rapport à l'effet du faisceau AM⁴⁸. En peropératoire, certains ont observé après plastie à double faisceau un bénéfice en terme de stabilité antérieure à 30° de flexion du genou et de stabilité rotatoire⁴⁹, mais tous les auteurs ne rapportent pas de réduction des amplitudes de rotation après reconstruction à double faisceau^{50,51}.

Des perspectives futures intéressantes se dessinent pour la mesure de la stabilité rotatoire. Kubo *et al.* proposent un système de mesure utilisant des marqueurs électromagnétiques, pour enregistrer la stabilité lors d'un test manuel de ressaut rotatoire⁵². Araki *et al.* publient une évaluation récente comparative entre techniques à simple et

double faisceau, rapportant une supériorité du double faisceau lors des mesures de translation antérieure et de test du pivot shift à l'aide de ce genre d'appareil de mesure⁵³. Un autre espoir est représenté par l'utilisation de gyroscopes couplés à des accéléromètres, avec possibilité d'une analyse ambulatoire, sur le terrain⁵⁴.

CONCLUSIONS

La technique de reconstruction à double faisceau du LCA, bien que plus complexe que la reconstruction à simple faisceau, reste accessible au chirurgien ayant une pratique courante de ligamentoplastie. Cette majoration de la difficulté chirurgicale, les complications potentielles rencontrées en cas de reprise, et le surcroît de coût (systèmes de fixation des greffons) ne semblent pas aujourd'hui clairement justifiés : les études publiées démontrent peu de bénéfice objectif de ces reconstructions anatomiques, même si les travaux *in vitro* sont à l'avantage des reconstructions à double faisceau, en terme de contrôle de la laxité rotatoire dans le plan transverse. Le seul élément factuel clinique est que les reconstructions à double faisceau semblent mieux contrôler le mécanisme de pivot, et limiter parfois la laxité antérieure dans certains degrés de flexion. Il manque d'un outil de mesure clinique pour quantifier le bénéfice potentiellement important de ces plasties en terme de stabilité rotatoire. Rappelons que la base du développement des techniques à double faisceau était de trouver une reconstruction du LCA améliorant les résultats mitigés à long terme des ligamentoplasties à simple faisceau. La vraie question, à laquelle il faudra répondre dans le futur, est de savoir si les reconstructions à double faisceau permettront, en limitant les épisodes d'instabilité rotatoire, d'assurer une meilleure protection du capital méniscal et une diminution de la progression des phénomènes dégénératifs au niveau du cartilage articulaire, puisqu'une lésion du LCA vieillirait le genou de 30 ans.

Depuis quelques années, une nouvelle tendance se dégage, qui a évolué en parallèle avec le développement des reconstructions à double faisceau : placer le tunnel fémoral des plasties à simple faisceau plus oblique et latéral (en position « 10 h » au lieu de « 11 h » pour un genou droit). Cette position pourrait procurer une meilleure stabilité que la position usuelle plus verticale. Ishibashi *et al.* mesurent, par navigation intra-opératoire, une laxité identiquement améliorée après reconstruction à double faisceau et reconstruction à simple faisceau dans cette position dite « anatomique »⁵⁵. Suffirait-il donc de placer différemment un seul faisceau ? Des auteurs remettent en cause cette orientation plus oblique du mono-faisceau, estimant qu'elle entraînerait une réduction de la stabilité du genou en flexion. Dans la même ligne d'idées, l'expérience des reconstructions à double faisceau a montré qu'un placement légèrement plus antérieur du faisceau AM était gérable au niveau de la place dans l'échancrure intercondylienne. Certains auteurs rapportent d'autre part leur expérience du traitement de lésions isolées d'un faisceau du LCA par reconstruction isolée du faisceau lésé, en laissant en place le faisceau non lésé, supposé intact. On ne peut cependant méconnaître le danger venant du fait que des lésions plastiques, non visibles à la résonance magnétique, peuvent exister dans le faisceau qu'on prétend intact et qu'on ne reconstruit pas. Inversement, certaines lésions partielles, qui auraient pu bénéficier d'un traitement conservateur adéquat, risquent, avec cette nouvelle tendance, de se transformer plus systématiquement en indication chirurgicale.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cermak K : Reconstruction du ligament croisé antérieur à simple et double faisceau. Etude prospective randomisée par évaluation clinique et analyse quantitative optoélectronique tridimensionnelle. Mémoire de Chirurgie Orthopédique, ULB, septembre 2009
2. Marcacci M, Molgora AP, Zaffagnini S, Vascellari A, Iacono F, Presti ML : Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings. *Arthroscopy*, 2003 ; 19 : 540-6
3. Yamamoto Y, Hsu WH, Woo SL, Van Scyoc AH, Takakura Y, Debski RE : Knee stability and graft function after anterior cruciate ligament reconstruction. A comparison of a lateral and an anatomical femoral tunnel placement. *Am J Sports Med* 2004 ; 32 : 1825-32
4. Girgis F, Marshall J, Monajem A : The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop* 1975 ; 106 : 216-3
5. Tena-Arregui J, Barrio-Asensio C, Viejo-Tirado F, Puerta-Fonolla J, Murillo-Gonzalez J : Arthroscopic study of the knee joint in fetuses. *Arthroscopy* 2003 ; 19 : 862-8
6. Amis A, Dawkins G : Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg (Br)* 1991 ; 73 : 260-7
7. Noyes FR, DeLucas JL, Torvik PJ : Biomechanics of anterior cruciate ligament failure. An analysis of strain-rate sensitivity and mechanisms of failure in primates. *J Bone Joint Surg (Am)* 1974 ; 56 : 236-53
8. Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S : Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med* 1991 ; 19 : 217-25
9. Amis A, Dawkins G : Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. *J Bone Joint Surg (Br)* 1991 ; 73 : 260-7
10. Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH : In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res* 1997 ; 15 : 285-93
11. Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W : The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med* 2007 ; 35 : 223-7
12. Kocher MS, Steadman JR, Briggs KK, Sterett WI, Hawkins RJ : Relationships between objective assessment of ligament stability and subjective assessment of symptoms and function after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2004 ; 32 : 629-34
13. Nedeff DD, Bach BR Jr : Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autografts. A comprehensive review of contemporary literature. *Am J Knee Surg* 2001 ; 14 : 243-58
14. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH, Woo SL : Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2002 ; 30 : 660-6
15. Yamamoto Y, Hsu WH, Woo SL, Van Scyoc AH, Takakura Y, Debski RE : Knee stability and graft function after anterior cruciate ligament reconstruction. A comparison of a lateral and an anatomical femoral tunnel placement. *Am J Sports Med* 2004 ; 32 : 1825-32
16. Misonoo G, Kanamori A, Ida H, Miyakawa S, Ochiai N : Evaluation of tibial rotational stability of single-bundle vs. anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction during a high-demand activity - A quasi-randomized trial. *Knee* 2011 Feb 12
17. Mott HW : Semitendinosus anatomic reconstruction for cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop* 1983 ; 172 : 90-2
18. Zariczny B : Reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee using a doubled tendon graft. *Clin Orthop* 1987 ; 220 : 162-75
19. Rosenberg T : Techniques for ACL reconstruction with Multi-Trac drill guide. Mansfield MA, Accufex Microsurgical Inc. 1994
20. Zantop T, Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Fu FH, Petersen W : Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. Importance of femoral tunnel location on knee kinematics. *Am J Sports Med* 2008 ; 36 : 678-85
21. Mae T, Shino K, Matsumoto N, Nakata K, Nakamura N, Iwahashi T : Force sharing between two grafts in the anatomical two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006 ; 14 : 505-9
22. Hamada M, Shino K, Horibe S, Mitsuoka T, Miyama T, Shiozaki Y, Mae T : Single- versus bi-socket anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous multiple-stranded hamstring tendons with endoButton femoral fixation. A prospective study. *Arthroscopy* 2001 ; 17 : 801-7
23. Marcacci M, Molgora AP, Zaffagnini S, Vascellari A, Iacono F, Presti ML : Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings. *Arthroscopy* 2003 ; 19 : 540-6
24. Brower RS, Melby A 3rd, Askew MJ, Beringer DC : In vitro comparison of over-the-top and through-the-condyle anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med* 1992 ; 20 : 567-74
25. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H : Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts. Comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy* 2006 ; 22 : 240-51
26. Crawford C, Nyland J, Landes S, Jackson R, Chang HC, Nawab A, Caborn DN : Anatomic double bundle ACL reconstruction. A literature review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007 ; 15 : 946-64
27. Dienst M, Burks RT, Greis PE : Anatomy and biomechanics of the anterior cruciate ligament. *Orthop Clin North Am* 2002 ; 33 : 605-20
28. Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM : Definitive landmarks for reproducible tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1995 ; 11 : 275-88
29. Bellier G, Christel P, Colombet Ph, Djian P, Franceschi JP, Sbihi A : La reconstruction du ligament croisé antérieur par greffe à deux faisceaux utilisant les tendons de la patte d'oie. <http://www.maitrise-orthop.com/viewPage.do?id=917>, 2003
30. Mochizuki T, Muneta T, Nagase T, Shirasawa S, Akita KI, Sekiya I : Cadaveric knee observation study for describing anatomic femoral tunnel placement for two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2006 ; 22 : 356-61
31. Kim SJ, Jung KA, Song DH : Arthroscopic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using autogenous quadriceps tendon. *Arthroscopy* 2006 ; 22 : 797
32. Kondo E, Yasuda K : Second-look arthroscopic evaluations of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. Relation with postoperative knee stability. *Arthroscopy* 2007 ; 23 : 1198-209.
33. Franceschi JP, Sbihi A, Champsaur P : Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament using double anteromedial and posterolateral bundles. *Rev Chir Orthop* 2002 ; 88 : 691-7
34. Jarvela T, Moisala AS, Sihvonen R, Jarvela S, Kannus P, Jarvinen M : Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring autografts and bioabsorbable interference screw fixation. Prospective, randomized, clinical study with 2-year results. *Am J Sports Med* 2008 ; 36 : 290-7
35. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, Yagishita K, Sekiya I : A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques. *Arthroscopy* 2007 ; 23 : 618-28
36. Siebold R, Dehler C, Ellert T : Prospective randomized comparison of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2008 ; 24 : 137-45
37. Streich NA, Friedrich K, Gotterbarm T, Schmitt H : Reconstruction of the ACL with a semitendinosus tendon graft. A prospective randomized single blinded comparison of double-bundle versus single-bundle technique in male athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008 ; 16 : 232-8
38. Asagumo H, Kimura M, Kobayashi Y, Taki M, Takagishi K : Anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament using double-bundle hamstring tendons. Surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *Arthroscopy* 2007 ; 23 : 602-9
39. Kondo E, Yasuda K, Azuma H, Tanabe Y, Yagi T : Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients. *Am J Sports Med* 2008 ; 36 : 1675-87

40. Muneta T, Koga H, Morito T, Yagishita K, Sekiya I : A retrospective study of the midterm outcome of two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled semitendinosus tendon in comparison with one-bundle reconstruction. *Arthroscopy* 2006 ; 22 : 252-8
41. Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Tanabe Y, Tohyama H : Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts. Comparisons among 3 different procedures. *Arthroscopy* 2006 ; 22 : 240-51
42. Fujita N, Kuroda R, Matsumoto T, Yamaguchi M, Yagi M, Matsumoto A, Kubo S, Matsushita T, Hoshino Y, Nishimoto K, Araki D, Kurosaka M : Comparison of the clinical outcome of double-bundle, anteromedial single-bundle, and posterolateral single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendon graft with minimum 2-year follow-up. *Arthroscopy* 2011 ; 27 : 906-13
43. Meredith RB, Vance KJ, Appleby D, Lubowitz JH : Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament. A meta-analysis. *Am J Sports Med* 2008 ; 36 : 1414-21
44. Andriacchi TP, Birac D : Functional testing in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Clin Orthop* 1993 ; 288 : 40-7
45. Georgoulis AD, Papadonikolakis A, Papageorgiou CD, Mitsou A, Stergiou N : Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking. *Am J Sports Med* 2003 ; 31 : 75-9
46. Lam MH, Fong DT, Yung PS, Ho EP, Fung KY, Chan KM : Knee rotational stability during pivoting movement is restored after anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2011 ; 39 : 1032-8
47. Tsarouhas A, Iosifidis M, Kotzamitelos D, Spyropoulos G, Tsatalas T, Giakas G : Three-dimensional kinematic and kinetic analysis of knee rotational stability after single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2010 ; 26 : 885-93
48. Colombet P, Robinson J, Christel P, Franceschi JP, Djian P, Bellier G, Sbihi A : Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction. A cadaveric dissection and radiographic study. *Arthroscopy* 2006 ; 22 : 984-92
49. Hofbauer M, Valentin P, Kdolsky R, Ostermann RC, Graf A, Figl M, Aldrian S : Rotational and translational laxity after computer-navigated single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010 ; 18 : 1201-7
50. Ferretti A, Monaco E, Labianca L, De Carli A, Maestri B, Conteduca F : Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. A comprehensive kinematic study using navigation. *Am J Sports Med* 2009 ; 37 : 1548-53
51. Plaweski S, Grimaldi M, Courvoisier A, Wimsey S : Intraoperative comparisons of knee kinematics of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011 Feb 11
52. Kubo S, Muratsu H, Yoshiya S, Mizuno K, Kurosaka M : Reliability and usefulness of a new in vivo measurement system of the pivot shift. *Clin Orthop* 2007 ; 454 : 54-8
53. Araki D, Kuroda R, Kubo S, Fujita N, Tei K, Nishimoto K, Hoshino Y, Matsushita T, Matsumoto T, Nagamune K, Kurosaka M : A prospective randomised study of anatomical single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction : quantitative evaluation using an electromagnetic measurement system. *Int Orthop*. 2011 Mar ; 35 : 439-46
54. Favre J : Ambulatory evaluation of 3D knee joint function in patients with ACL rupture using inertial sensors. Thèse à la faculté des sciences et techniques de Lausanne. 2008
55. Ishibashi Y, Tsuda E, Satoh H, Toh S : Posterolateral bundle reconstruction for rotatory instability after revision anterior cruciate ligament surgery. *J Orthop Sci* 2005 ; 10 : 546-9

Correspondance et tirés à part :

K. CERMAK
 Service d'Orthopédie-Traumatologie,
 Cliniques Universitaires de Bruxelles,
 Hôpital Erasme,
 Route de Lennik 808
 1070 Bruxelles
 E-mail : katerina.cermak@erasme.ulb.ac.be

Travail reçu le 1^{er} août 2011 ; accepté dans sa version définitive le 1^{er} septembre 2011.