

Doble fascículo vs. fascículo único en posición horizontal. Resultados clínicos del LCA

S. Sastre¹, D. Popescu¹, F. Macule¹, M. del Amo², M.I. García², L. Lozano¹

¹Sección Rodilla; ²Servicio de Radiología. Hospital Clínic i Provincial. Barcelona

Correspondencia:

Sergi Sastre
Hospital Clínic i Provincial
Villarroel, 170
08036 Barcelona
Correo electrónico: ssastre@clinic.ub.es

Objetivo: Evaluar si la técnica del doble fascículo (DF) mejora la laxitud de la rodilla en la reconstrucción del LCA frente a la técnica de fascículo único (FUH) pero en una posición del túnel femoral más horizontal (las 10 h o las 2 h del reloj).

Material y métodos: Es un estudio prospectivo y aleatorizado. Hemos aleatorizado a 40 pacientes, 20 en el grupo DF y 20 en el FUH. Para el FUH, se han utilizado las cuatro bandas de semitendinoso –recto interno autólogo–; y para el DF, la técnica habitual de cuatro túneles con los mismos tendones. Para valorar resultados, se ha realizado el test completo de evaluación subjetiva de la rodilla del International Knee Documentation Committee (IKDC). En todos se han efectuado radiografías estándar y radiología forzada para la inestabilidad anteroposterior.

Resultados: Todos los pacientes completaron el estudio. No hubo diferencias significativas en cuanto a la homogeneidad inicial en los dos grupos. En el seguimiento no se encontraron diferencias al comparar ambos grupos, aunque sí diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el preoperatorio y posoperatorio de ambos grupos. El índice IKDC también presentó diferencias significativas a los 18 meses. En el grupo FUH, la puntuación media pasó de $58,2 \pm 11,4$ a $83,6 \pm 10,8$ ($p = 0,011$); y en el grupo DF, de $62,7 \pm 16,5$ a $84,4 \pm 9,4$ ($p = 0,009$). No se encontraron diferencias significativas en el apartado de examen de la rodilla.

Conclusiones: El descenso desde la 1 o las 11 del reloj a las 2 o las 10 no muestra resultados significativamente diferentes en ambas técnicas respecto al desplazamiento del pivote, estabilidad anteroposterior manual y radiológica y en las puntuaciones del IKDC. Sin embargo, se han registrado diferencias significativas en ambos

Double bundle vs. single bundle in a horizontal femoral position. Clinical outcome of the anterior cruciate ligament.

Purpose: To evaluate if the double bundle technique (DB) improves the laxity in the knee in an ACL reconstruction versus the single bundle technique (SBH), but with the femoral tunnel in a more horizontal position (at 10 or 2 o'clock).

Methods: This study is a randomized and prospective investigation. 40 patients were randomized, 20 in the DB group and 20 in the SBH group. For the SBH group 4 stranded semitendinosus and Gracilis autologous grafts were used, and for the DB group the conventional 4 tunnel technique with the same tendons was used. IKDC was used to evaluate results. Standardized radiographs and forced radiology were evaluated for anteroposterior instability for all of the patients.

Results: All patients completed the study. No significant differences were found in the initial homogeneity of both groups. At follow-up no differences were found when comparing both groups, although significant differences were found ($p < 0,05$) between the preoperative and postoperative evaluations for both groups. The IKDC index (subjective knee evaluation) also showed significant differences at the 18 months follow-up. The average scores for the SBH group increased from 58.2 ± 11.4 to 83.6 ± 10.8 ($p = 0.011$) and for the DB group average scores increased from 62.7 ± 16.5 to 84.4 ± 9.4 ($p = 0.009$). No significant differences were found in the knee examination section.

Conclusions: A descent in the femoral tunnel placement from 1 or 11 o'clock to 2 or 10 o'clock does not show significantly different findings between SBH and DB on the pivot-shift test, the manual and radiological anterior posterior stability and on the IKDC scores. However, sig-

grupos de manera individual entre el preoperatorio y el postoperatorio.

Nivel de evidencia: Nivel I, estudio prospectivo aleatorizado.

Palabras clave: Ligamento cruzado anterior. Túnel femoral. Aleatorizado. Doble fascículo. Fascículo único.

INTRODUCCIÓN

Aunque las técnicas de reconstrucción del LCA han proporcionado buenos resultados clínicos, hay pacientes en los que persiste cierto grado de inestabilidad. La mayoría de las técnicas reproducen el haz AM y, aunque con esto se logre una buena estabilidad AP, no se consigue un buen control de la estabilidad rotacional⁽¹⁻³⁾. La técnica del DF ha mostrado un mejor control de la estabilidad rotacional en estudios biomecánicos⁽³⁻⁵⁾. Actualmente están apareciendo nuevos trabajos que comparan de manera prospectiva los resultados del DF, y en la mayoría se demuestra un mejor control de la estabilidad rotacional, sobre todo en individuos con alta demanda de estabilidad en la rodilla⁽⁶⁻⁸⁾.

Hoy día existe controversia sobre la correcta posición del túnel femoral: desde la clásica posición más vertical, a las 11 h o la 1 h del reloj según técnica monotúnel, hasta las 3 h o las 9 h que han sugerido algunos cirujanos, con una posición más horizontal de la plastia⁽⁹⁻¹³⁾. El LCA original consta de dos haces interrelacionados: el haz anteromedial (AM), que estabiliza la rodilla a 90° de flexión y básicamente en el plano anteroposterior, y el haz posterolateral (PL), el cual otorga estabilidad en los últimos grados de extensión y mantiene la estabilidad rotacional. Ninguno de los dos haces originales se encuentra situado de manera anatómica, aunque el AM es más isométrico que el PL^(14,15).

Existen diversos estudios en cadáver donde se demuestra un mejor control de la estabilidad rotacional al colocar la plastia en una posición del túnel femoral más horizontal. No se dispone de muchos estudios clínicos que comparen de manera prospectiva y aleatorizada la estabilidad de la rodilla según la posición del túnel femoral^(13,16) o la técnica de DF con una posición más horizontal de la plastia con un solo fascículo (FUH)⁽¹⁷⁾.

nificant differences in both groups were found between the preoperative and postoperative evaluations.

Level of evidence: Level I, therapeutic prospective randomized trial.

Key words: Anterior cruciate ligament. Femoral tunnel. Randomized. Double bundle. Single bundle.

El objetivo de este estudio es realizar un estudio prospectivo, aleatorizado a simple ciego para comparar los resultados clínicos de la reconstrucción del LCA mediante DF con los obtenidos mediante reconstrucción con un solo fascículo en una posición más horizontal (2 o 10 del reloj) en pacientes sin mucha demanda de estabilidad rotacional. La hipótesis consiste en que ambas técnicas devuelven la estabilidad a la rodilla lesionada, y se espera no encontrar diferencias entre ambas en este rango de población poco demandante.

MATERIAL Y MÉTODOS

Es un estudio prospectivo, aleatorizado a simple ciego y llevado a cabo en el Hospital Clínic de Barcelona. El proceso de aleatorización se realizó mediante sobre cerrado en el mismo quirófano en los pacientes que cumplían los criterios de inclusión. Se incluyeron 40 pacientes y se aleatorizaron en dos grupos. Al grupo 1 (FUH) se le aplicó procedimiento quirúrgico monofascicular con cuatro hebras de tendones autólogos de la pata de ganso en una posición más horizontal de la habitual (a las 10 h o 2 h del reloj) (n = 20); y al grupo 2 (DF) se le realizó el procedimiento quirúrgico bifascicular según técnica descrita (n = 20) con la misma plastia del grupo anterior.

• **Criterios de inclusión:** Edad: entre 18 y 50 años; lesión subaguda (menos de dos años desde la lesión a la cirugía); ausencia de cirugía previa; consentimiento informado; seguimiento mínimo: un año.

• **Grupos:**

1) **FUH:** El túnel único femoral se colocó a las 2 h del reloj –rodilla izquierda– o a las 10 h –rodilla derecha–. Éste se realizó desde portal accesorio para permitir escoger el punto de entrada idóneo.

2) **DF:** se practicó según la técnica que se describe más adelante^(18,19).



Figura 1. Colocación de la guía para el túnel femoral desde portal medial accesorio (nótese la flexión de la rodilla por encima de 100°).

• **Técnica quirúrgica:** Una vez comprobada la lesión completa del LCA, se extrae el tendón semitendinoso (TST) y del recto interno (TRI) mediante incisión oblicua sobre pata de ganso mediante tenótomo específico. En ambos grupos se resecan los restos de LCA, marcando la inserción del mismo.

a) **FUH:** El túnel tibial se fijó siempre a 55° para permitir mayor recorrido de la plastia dentro del túnel. El túnel femoral se realizó siempre desde un portal accesorio sin tener en cuenta el túnel tibial para permitir la correcta posición del túnel femoral a las 2 o las 10 sin influencia del túnel tibial. La plastia fue fijada en fémur mediante 1 Endobutton™ CLTM (Smith & Nephew) y en la tibia mediante un tornillo reabsorbible Biorci™ (Smith & Nephew) con la rodilla a 30° y forzando el cajón posterior (**Figura 1**).

b) **DF:** El TST se utilizó para el túnel AM, mientras que el TRI se utilizó para el PL. Primero se realizó el túnel tibial para el fascículo PL. Se utilizó la guía de 45° en el plano horizontal en



Figura 2. Resultado final con plastia DF (obsérvese la dirección de ambos fascículos reconstruidos [AM*, PL+]).

la inserción original del LCA y a 30° en el plano sagital, sin lesionar el ligamento lateral interno. Una vez colocado el KW guía, se realiza el túnel AM en una posición más anterior y medial con la guía de 55° y a 10° en el plano sagital. Es muy importante que ambos túneles no se crucen en su recorrido, dejando un espacio de 4-5 mm en la salida intraarticular de ambos túneles. El fascículo AM del túnel femoral se realiza a través del túnel tibial sobre las 11 h o la 1 h del reloj. El túnel PL femoral se realiza desde un portal medial accesorio con la rodilla a 100° de flexión, en la posición original del fascículo PL, a las 3 h o las 9 h del reloj. Se realizaron los túneles según el diámetro correspondiente al obtenido de las plastias y se fijaron en fémur mediante 2 Endobutton CLTM y en la tibia mediante dos tornillos reabsorbibles Biorci. Las plastias se fijaron en diferente posición, la PL con la rodilla prácticamente en extensión (10°) y el AM a 40° de flexión forzando el cajón posterior (**Figura 2**).

• **Rehabilitación:** Se utilizó el mismo protocolo de RHB para ambos grupos. Se autorizó la carga inmediata de la extremidad con ejercicios isométricos, continuando posteriormente con ejercicios de cadena cinética cerrada. Se autorizaron los ejercicios con bicicleta y natación a los 2 meses, carrera suave a partir de las 12 semanas. Los ejercicios de pivotación se retrasaron hasta los 6-9 meses.

• **Análisis estadístico:** Análisis descriptivo (medias y desviaciones típicas) para las variables continuas, y paramétrico proporcional para las categóricas. Pruebas *t* de Student o *U*

Tabla 1							
CUESTIONARIO DE SALUD: VARIACIONES PREOPERATORIO/POSOPERATORIO PARA CADA TÉCNICA ESTUDIADA							
SF-36	Grupo 1 (FUH) (n = 20)			Grupo 2 (DF) (n = 20)			Diferencias entre grupos 18 meses
	0 meses	18 meses	p*	0 meses	18 meses	p*	p**
Función física	72,9 ± 21,6	93,3 ± 8,9	0,009	71,7 ± 35,6	92,6 ± 13,9	0,032	0,843
Rol físico	62,5 ± 39,2	93,8 ± 21,7	0,015	73,3 ± 24,6	95,4 ± 34,5	0,029	0,713
Dolor corporal	66,9 ± 22,9	87,0 ± 18,9	0,035	72,6 ± 15,7	89,9 ± 16,4	0,021	0,932
Salud general	80,3 ± 19,0	94,1 ± 6,0	0,041	80,6 ± 9,2	89,8 ± 8,2	0,016	0,178
Vitalidad	69,6 ± 18,4	83,3 ± 14,8	0,058	71,7 ± 11,9	82,5 ± 14,4	0,050	0,755
Función social	79,2 ± 13,4	95,8 ± 6,2	0,007	80,8 ± 11,3	94,6 ± 14,2	0,009	0,443
Rol emocional	72,2 ± 44,6	97,2 ± 9,6	0,044	71,9 ± 25,9	94,4 ± 19,2	0,045	0,977
Salud mental	66,7 ± 21,4	83,8 ± 13,3	0,022	70,4 ± 13,0	78,8 ± 15,4	0,067	0,347
Componente físico	48,0 ± 7,9	54,5 ± 6,0	0,019	49,1 ± 8,5	53,3 ± 6,1	0,018	0,410
Componente mental	46,6 ± 13,3	54,5 ± 4,4	0,084	45,3 ± 4,2	53,8 ± 6,7	0,071	0,887

* Resultados como media ± desviación típica; rango de 0 (peor) a 100 (mejor). SF-36: *Medical Outcomes Study Short Form-36*; n: número. * Datos pareados de Wilcoxon; ** 'U' de Mann-Whitney.

de Mann-Whitney para las variables continuas, en función de si su distribución era o no normal. Prueba χ^2 para la comparación de variables categóricas. Prueba de Wilcoxon (para datos pareados) o de McNemar, según se tratase de datos continuos o datos categóricos. El nivel especificado de significación estadística fue de 0,05.

RESULTADOS

Incluimos en el estudio a 40 pacientes, los cuales fueron aleatorizados en los dos grupos de estudio. No se excluyó ningún paciente en el seguimiento. No hemos encontrado diferencias significativas en el preoperatorio en cuanto al apartado demográfico, al relativo a salud y al apartado subjetivo del cuestionario de evaluación de la rodilla del International Knee Documentation Committee (índice IKDC) al comparar ambos grupos entre sí.

A la entrada en el estudio, el 83,3% de los pacientes del grupo FUH y el 100% del grupo DF manifestaron que su estado de salud estaba igual o peor comparado con el del año anterior (ítem del SF-36: transición percibida de salud).

A los 18 meses estos porcentajes se redujeron significativamente al 16,6% en el grupo FUH y al 25% en el grupo DF ($p < 0,004$).

En el apartado de salud actual vemos que existen diferencias significativas entre el preoperatorio y el posoperatorio de cada grupo en particular, pero no existen diferencias en el seguimiento al comparar ambos grupos entre sí (**Tabla 1**).

El índice IKDC también presentó diferencias significativas en cada uno de los grupos. En el grupo FUH, pasó de la puntuación media en el preoperatorio de $48,2 \pm 11,4$ a $81,6 \pm 10,8$ ($p = 0,011$); y en el grupo DF, de $52,7 \pm 16,5$ a $80,4 \pm 9,4$ ($p = 0,019$). Al comparar ambos grupos entre sí en el seguimiento no hemos encontrado diferencias significativas ($p = 0,52$).

En el apartado objetivo del IKDC no hemos encontrado diferencias en ninguno de los apartados entre ambos grupos (derrame, déficit de movilidad, afectación de compartimentos, Lachman manual y radiológico, desplazamiento del pivote, test funcional) (**Tabla 2**).

No hemos tenido ninguna complicación referente a fallo precoz de la plastia ni relacionados con infecciones superficiales o profundas. En dos casos del grupo DF hemos encontrado restos metálicos en la radiografía de control, sin

Tabla 2				
RESULTADOS DEL APARTADO OBJETIVO DEL CUESTIONARIO IKDC				
Derrame	Normal (A)	20	19	0,9
	Cerca de la normalidad (B)	0	1	
Déficit de movimiento pasivo	Normal (A)	20	19	0,9
	Cerca de la normalidad (B)	0	1	
Evaluación de compartimento	Normal (A)	16	18	0,774
	Cerca de la normalidad (B)	4	2	
Examen de ligamento MI^a	-1 a 2 mm	17	19	0,678
	3 a 5 mm	3	1	
Examen de ligamento MPTA^b	1 a 2 mm	17	18	0,678
	3 a 5 mm	3	2	
Desplazamiento del pivote	Igual	18	19	0,865
	+ ruido	1	1	
	++ ruido	1	0	
Test funcional	Normal (> 90°)	12	14	0,742
	Cerca de la normalidad (89°-76°)	5	6	
	Anormal (75°-51°)	1	0	

^aManual con instrumento, rayos X, Lachman (flexión 25°); ^bMáx. manual punto terminal anterior, Lachman (flexión 25°).

ninguna repercusión clínica, debido probablemente a la posición forzada de la guía respecto a la broca al realizar el túnel femoral PL (**Figura 3**). En un caso de DF hemos comprobado en la radiología la fijación de la placa metálica del Endobutton en el túnel PL en tejidos blandos. Esto se ha debido probablemente al pequeño diámetro de esta plastia (5 mm), por lo que es el mismo que la de la placa del Endobutton y no encuentra el tope final hasta llegar a la zona cortical. Este caso tampoco ha tenido repercusión clínica final (**Figura 4**).

DISCUSIÓN

La técnica de DF se ha desarrollado en los últimos años, existiendo en la literatura varios estudios anatómicos y biomecánicos⁽¹⁸⁻²¹⁾. En el último año han empezado a aparecer estudios clínicos, prospectivos y aleatorizados que comparan las técnicas utilizando un solo túnel o bien utilizando DF^(5,7,17,22-24). También es reciente la controversia entre los trabajos que analizan la posición del túnel femoral con la inestabilidad rotacional residual^(6,12,13); la mayoría concluye que una posición más horizontal de la plastia favorece un mejor control de la estabilidad rotacional de la rodilla⁽¹³⁾.

La mayoría de estudios clínicos prospectivos y aleatorizados recientes muestran mejores resultados a favor de la plastia con DF, sobre todo en el control de la estabilidad rotacional^(5,16,25), aunque muestran disparidad de resultados en otros diferentes apartados (estabilidad anteroposterior, IKDC, Lysholm...)^(17,26).

Algunos autores describen la relación entre la maniobra de desplazamiento del pivote y la satisfacción del paciente, mientras que la laxitud anteroposterior no influye en el juicio subjetivo del paciente⁽²⁷⁾; asimismo, se ha descrito la relación entre la inestabilidad residual, –en especial, la rotacional– y la aparición más temprana de cambios artrósicos en la rodilla⁽²⁸⁾. Por ello, uno de los objetivos principales en este tipo de intervenciones tendría que ser conseguir el control de la estabilidad rotacional en esa articulación.

Existen varios métodos de cuantificar el grado de inestabilidad rotacional en estudios *in vitro*. Sin embargo, la gran dificultad radica en la falta de métodos objetivos para poder medir y cuantificar de manera objetiva la estabilidad rotacional *in vivo* y de manera reproducible. La maniobra de desplazamiento del pivote constituye para este fin un método subjetivo que depende de múltiples factores: grado de colaboración del paciente, experiencia del explorador, etc., siendo éste el punto débil a la hora de va-

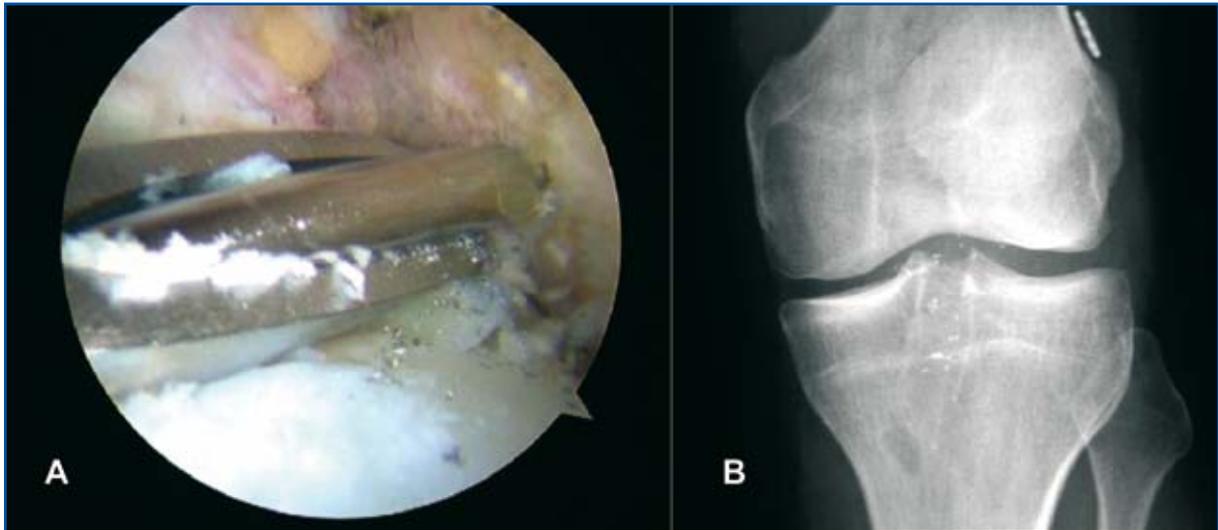


Figura 3. 3A: Restos de debris metálico durante la cirugía. 3B: Radiología de control donde se observan estos restos metálicos en túnel tibial.

lorar los resultados en todo este tipo de estudios clínicos.

Una ventaja de realizar el túnel femoral a través de un portal accesorio es la de poder escoger la óptima posición del mismo sin estar obligado por la dirección del túnel tibial; por contra, es imprescindible asegurar una flexión igual o superior a los 100° para poder realizar el túnel femoral.

Resulta probada la relación entre la localización de los túneles –sobre todo, del femoral– y el grado de isometría de la plastia durante la flexoextensión de la rodilla como la principal causa de fallo de la plastia a medio y largo plazo. La posición más horizontal de la plastia en el caso del FUH también consigue la isometría descrita, por lo que es un método fiable para las reconstrucciones del LCA⁽¹³⁾. La colocación más horizontal de la plastia en el túnel femoral exige que se realice a través de un portal accesorio, no a través del túnel tibial. El portal permite también la libertad de poder abordarlo en la posición óptima, sin ningún condicionante derivado de la dirección del túnel tibial.

Nuestro estudio muestra diferencias en los resultados obtenidos con la mayoría de estudios clínicos realizados que comparan ambas técnicas en cuanto a la inestabilidad rotacional, siendo Streicht *et al.* el único que hemos encontrado en la literatura donde se comparan ambas técnicas y en el cual no se muestran diferencias en los resultados entre ambas

en cuanto a la estabilidad rotacional. La diferencia con el presente trabajo consiste básicamente en el tipo de población estudiado: atletas masculinos jóvenes con altas demandas deportivas vs. población normal con bajos re-



Figura 4. Rx con el Endobutton de túnel PL en tejidos blandos adyacentes.

querimientos. Diversos estudios han encontrado una mayor laxitud en pacientes femeninas respecto a los masculinos; en éste, al ser los dos grupos homogéneos sin diferencias significativas en cuanto al sexo, la hipotética laxitud no ha influido en los resultados⁽²⁹⁻³¹⁾.

CONCLUSIONES

En base a nuestro trabajo podemos concluir que con la reconstrucción mediante DF podemos conseguir resultados excelentes. Como planteábamos en la hipótesis, ambas técnicas

consiguen restaurar la estabilidad de la rodilla y, aunque los resultados obtenidos con el DF son ligeramente superiores, las diferencias no son estadísticamente significativas. Ante las exigencias técnicas que comporta el DF, es recomendable su utilización por cirujanos con amplia experiencia en este tipo de cirugías y sobre pacientes con altas demandas físicas. Descender el túnel femoral (de las 11 h a las 10 h o de la 1 h a las 2 h) mediante un portal accesorio proporciona una estabilidad en el plano horizontal semejante a la obtenida mediante DF, por lo que es más aconsejable la técnica de FUH en este colectivo de pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F, Sasso F. Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. A prospective, randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am* 2004; 86-A: 2143-55.
2. Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR, Jr. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *Am J Sports Med* 2003; 31: 2-11.
3. Yagi M, Wong EK, Kanamori A, Debski RE, Fu FH, and Woo SL. Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2002; 30: 660-6.
4. Buoncristiani AM, Tjoumakaris FP, Starman JS, Ferretti M, Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2006; 22: 1000-6.
5. Jarvela T. Double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007; 15: 500-7.
6. Zaffagnini S, Bruni D, Martelli S, Imakiire N, Marcacci M, Russo A. Double-bundle ACL reconstruction: influence of femoral tunnel orientation in knee laxity analysed with a navigation system: an in-vitro biomechanical study. *BMC Musculoskelet Disord* 2008; 9: 25.
7. Crawford C, Nyland J, Landes S, Jackson R, Chang HC, Nawab A, et al. Anatomic double bundle ACL reconstruction: a literature review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2007; 15: 946-64.
8. Sastre S, Popescu D, Maculé F. Plastia LCA: doble vs. único fascículo. Estudio prospectivo aleatorizado. En: XXV Congreso de la AEA. Girona, mayo 2008.
9. Arnold MP, Kooloos J, van Kampen A. Single-incision technique misses the anatomical femoral anterior cruciate ligament insertion: a cadaver study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001; 9: 194-9.
10. Miller MD, Olszewski AD. Cruciate ligament graft intra-articular distances. *Arthroscopy* 1997; 13: 291-5.
11. Fu FH, Schulte KR. Anterior cruciate ligament surgery 1996. State of the art? *Clin Orthop Relat Res* 1996; 19-24.
12. Garofalo R, Moretti B, Kombot C, Moretti L, Mouhsine E. Femoral tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction: rationale of the two incision technique. *J Orthop Surg* 2007; 2: 10.
13. Jepsen CF, Lundberg-Jensen AK, Faunoe P. Does the position of the femoral tunnel affect the laxity or clinical outcome of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee? A clinical, prospective, randomized, double-blind study. *Arthroscopy* 2007; 23: 1326-33.
14. Mommersteeg TJ, Blankevoort L, Huiskes R, Kooloos JG, Kauer JM. Characterization of the mechanical behavior of human knee ligaments: a numerical-experimental approach. *J Biomech* 1996; 29: 151-60.
15. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res* 2007; 454: 35-47.
16. Aglietti P, Giron F, Cuomo P, Losco M, Mondanelli N. Single-and double-incision double-bundle ACL reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 2007; 454: 108-13.

17. 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.
18. Cha PS, Brucker PU, West RV, Zelle BA, Yagi M, Kurosaka M et al. Arthroscopic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: an anatomic approach. *Arthroscopy* 2005; 21: 1275.
19. Hara K, Kubo T, Suginoishi T, Shimizu C, Hirasawa Y. Reconstruction of the anterior cruciate ligament using a double bundle. *Arthroscopy* 2000; 16: 860-4.
20. Radford WJ, Amis AA, Kempson SA, Stead AC, Camburn M. A comparative study of single- and double-bundle ACL reconstructions in sheep. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994; 2: 94-99.
21. Sasaki SU, da Mota e Albuquerque RF, Pereira CA, Gouveia GS, Vilela JC, Alcaras FL. An in vitro biomechanical comparison of anterior cruciate ligament reconstruction: single bundle versus anatomical double bundle techniques. *Clinics* 2008; 63: 71-6.
22. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, et al. 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.
23. 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.
24. 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, complications. *Arthroscopy* 2007; 23: 602-9.
25. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, et al. 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.
26. Siebold R, Dehler C, Ellert T. Prospective randomized comparison of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2008; 24: 137-45.
27. 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.
28. Jonsson H, Riklund-Ahlstrom K, Lind J. Positive pivot shift after ACL reconstruction predicts later osteoarthritis: 63 patients followed 5-9 years after surgery. *Acta Orthop Scand* 2004; 75: 594-9.
29. Muneta T, Koga H, Mochizuki T, Ju YJ, Hara K, Nimura A, et al. 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.
30. Barrett GR, Noojin FK, Hartzog CW, Nash CR. Reconstruction of the anterior cruciate ligament in females: a comparison of hamstring versus patellar tendon autograft. *Arthroscopy* 2002; 18: 46-54.
31. Gobbi A, Domzalski M, Pascual J. Comparison of anterior cruciate ligament reconstruction in male and female athletes using the patellar tendon and hamstring autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004; 12: 534-9.