



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Fisiopatologia e Diagnostica in Medicina Interna- a) Fisiopatologia e Diagnostica per Immagini in ambito Cardiovascolare, Renale e dello Sport – A.A. 2012/2013 (XXVI ciclo).

Dipartimento di Biopatologie e Biotecnologie Mediche
Settore Scientifico Disciplinare – MED 36

Analisi del posizionamento dei tunnel ossei nella ricostruzione del legamento crociato anteriore mediante TC e ripresa funzionale nello sportivo.

IL DOTTORE
ANDREA ABRUZZESE

IL COORDINATORE
PROF. MASSIMO MIDIRI

IL TUTOR
PROF. TOMMASO VINCENZO BARTOLOTTA

Indice

Cenni storici	2
Tecniche di ricostruzione dell' LCA	8
Principi di ricostruzione attuale del LCA	21
Materiali e metodi	25
Risultati	36
Discussione	39
Bibliografia	45

Cenni storici

La ricostruzione del legamento crociato anteriore è una delle procedure eseguite più frequentemente nella chirurgia del ginocchio ai giorni nostri. La storia della chirurgia per la ricostruzione dell' LCA inizia da molto lontano, ai tempi degli egiziani, con la descrizione anatomica nel famoso papiro Smith (3000 a.C.). Anche Ippocrate (460-370 a.C.) menzionò la sublussazione dell'articolazione del ginocchio a seguito di una patologia legamentosa, ma fu' Claudio Galeno, medico greco dell'impero romano, che descrisse per primo la vera natura dell'LCA. Prima della descrizione di Galeno, si credeva che i legamenti crociati fossero parte del sistema nervoso, ma Galeno fu' il primo a definire L'LCA come una struttura di supporto all'articolazione e di stabilizzazione del movimento del ginocchio. Lui chiamò i legamenti " genu cruciata" ma non descrisse in dettaglio le loro funzioni. Nel 1836 i fratelli Weber, da Goettingen in Germania, notarono un movimento anormale antero-posteriore della tibia dopo la resezione dell'LCA. Descrissero inoltre il meccanismo " the roll and glide" del ginocchio e i differenti fasci di cui

erano composti i legamenti crociati, i quali mostravano vari gradi di tensione durante i differenti gradi di flessione dell'articolazione.

La prima descrizione riconosciuta sulla rottura dell'LCA fu' di Stark nel 1850 e nel 1875, il greco Georgios C. Noulis, descrisse per la prima volta il Lachman test.

Nel 1879, Paul Segond descrisse una frattura da avulsione del margine anterolaterale del piatto tibiale. Questa è generalmente associata a rottura dell'LCA. Questa frattura è conosciuta ad oggi universalmente come frattura di Segond ed è considerata patognomonica per lesioni di LCA. Nel 1900, Battle riportò per primo una riparazione di LCA. Essa fu' eseguita due anni prima durante il trattamento di dislocazione del ginocchio ed i risultati furono soddisfacenti. Battle pubblicò il primo articolo e Mayo-Robson eseguì la prima riparazione.

Nel 1903, riportò la riparazione di entrambi i legamenti crociati in un minatore di 41 anni. Fu' fatta una diagnosi di rottura di entrambi i crociati e la successiva artrotomia rivelò che entrambi i legamenti erano avulsi a livello dell'inserzione femorale e furono riparati tramite suture. Dopo alcune settimane di apparecchio gessato, il ginocchio fu' mobilizzato e sei anni dopo il paziente riferì un buon recupero della forza. Mayo-Robson

percepì che questo caso poteva essere pubblicato e che la riparazione legamentosa era possibile e con buone prospettive.

Nel 1903, F. Lange di Monaco provò la sostituzione dell'LCA usando seta intrecciata attaccata al semitendinoso come un legamento sostitutivo, ma questo fallì. Nel 1913, Goetjes produsse uno studio dettagliato sulle rotture dei legamenti crociati, descrisse le funzioni dei legamenti e i meccanismi di rottura, su studi da cadavere. Sostenne la riparazione per le lesioni acute e il trattamento conservativo per le lesioni croniche. Nel 1916, Jones rimarcò che la sutura legamentosa fosse assolutamente futile e le sue osservazioni furono confermate 60 anni dopo da Feagin e Curl che pubblicarono la loro esperienza con un follow-up a lungo termine sui cadetti di West Point che avevano subito una riparazione legamentosa durante gli anni del college.

Nel 1917 Groves pubblicò un case report sulla ricostruzione di LCA con uno strip di fascia lata dalla sua inserzione diretta attraverso un tunnel sulla tibia. Nel 1934 Riccardo Galeazzi descrisse una tecnica di ricostruzione dell'LCA usando il tendine semitendinoso. Il trapianto venne disinserito dalla giunzione mio tendinea e posto intraarticularmente attraverso un tunnel osseo del diametro di 5 mm sull'epifisi tibiale e un

tunnel attraverso il condilo laterale femorale fissandolo al periostio. Galeazzi usò tre incisioni: una per il prelievo del semitendinoso, una per l'artrotomia ed un'altra per la fissazione laterale. Usò una immobilizzazione per 4 settimane e carico parziale per 6 settimane. Riportando 3 casi con un risultato finale di buona stabilità, estensione completa e riduzione della flessione.

Nel 1939 Macey riportò l'uso del semitendinoso sulla ricostruzione dell'LCA, per molti anni si pensò che Macey fosse stato il primo ad aver usato gli hamstrings.

Nel 1935, Campbell riportò per primo l'uso del terzo mediale del tendine rotuleo con sutura sul periostio a livello femorale. Nel 1963, Jones pubblicò una nuova tecnica per la ricostruzione dell'LCA, la tecnica descritta fu considerata più semplice e più “vicina alla fisiologia” rispetto alle altre tecniche. La sua procedura consisteva in una incisione mediale pararotulea che si andava ad estendere distalmente al tubercolo tibiale. Dopo aver eseguito il tunnel femorale, veniva inciso il terzo medio del tendine rotuleo con un tassello osseo prelevato dalla corticale superficiale della rotula, questo trapianto veniva passato attraverso il tunnel femorale. La criticità di questa tecnica centrava sul fatto che essendo il trapianto

corto, il tunnel femorale doveva essere eseguito sul margine anteriore e non sull'inserzione anatomica dell'LCA. Bruckner descrisse una tecnica simile nel 1966. Franke nel 1969, sviluppò le tecniche descritte da Jones e Bruckner. Fu il pioniere dell'uso di un trapianto osso-tendine rotuleo-osso, utilizzando un quarto del tendine rotuleo con bratta ossea prelevata prossimalmente dalla rotula e distalmente dalla tibia. Ma fu dal 1990 che questa tecnica divenne il gold standard di trattamento con il prelievo del terzo medio del rotuleo, durante questo periodo inoltre vennero prodotte delle viti ad interferenza per la fissazione del trapianto.

Nel 1971, Benson descrisse il potenziale biologico e biomeccanico del carbonio e durante gli anni '70 ed i primi anni '80 un gruppo di Cardiff sperimentò l'impianto di tendini sintetici in carbonio su animali.

Jenkins e all. che i trapianti impiantati venivano accettati dall'organismo senza alcuna reazione avversa e che potevano essere usati per la ricostruzione legamentosa con una forza uguale a quella di una normale struttura.

Durante gli anni '80 si sviluppò un notevole interesse sull'uso degli allograft per la ricostruzione dell'LCA. Nel 1983 Webster e Werner condussero uno studio su cani che portò a dei risultati molto incoraggianti

in termini di forza e fisiologia. In questo periodo inoltre la tecnica di ricostruzione legamentosa in artroscopia divenne molto popolare e vi furono due diverse scuole di pensiero che utilizzavano o la tecnica dell'inside-out in cui il legamento veniva inserito dall'interno dell'articolazione sulla gola femorale, o la tecnica dell'outside-in in cui il legamento veniva inserito attraverso un tunnel femorale.

Nel 2003 Marcacci e all. descrissero un trapianto del gracile e semitendinoso double-bundle dichiarando una ricostruzione del legamento più accurata e anatomica.

Tecniche di ricostruzione dell' LCA

Vi sono ad oggi svariate metodiche di ricostruzione del legamento, tra cui quella con tendine rotuleo, con gracile e semitendinoso e con allotrapianto.

Ricostruzione con il terzo medio del tendine rotuleo

Come già precedentemente accennato, l'utilizzo del terzo medio del tendine rotuleo per la ricostruzione del LCA è stato descritto per primo da Jones nel tentativo di fornire una procedura rispettosa della fisiologia del ginocchio.

La ricostruzione endoscopica con trapianto osso-tendine rotuleo-osso comprende alcuni passaggi:

- il prelievo
- la preparazione del trapianto
- la plastica della gola intercondiloidea,

- l'esecuzione dei tunnel tibiali e femorali
- il passaggio del trapianto
- la fissazione del trapianto

Il prelievo si esegue dopo aver eseguito un'incisione cutanea longitudinale dal polo inferiore della rotula fino ad 1 cm medialmente alla tuberosità tibiale, per non indebolire troppo il tendine non si utilizza più di un terzo dello stesso. Viene prolungata l'incisione di circa 25 mm oltre le rispettive inserzioni del tendine e tramite utilizzo di una sega oscillante di piccola dimensione si pratica l'osteotomia delle bratte ossee di circa 8 mm di spessore. Successivamente si esegue una rimozione dei tessuti molli in eccesso e si modellano le pastiche ossee fino al calibro desiderato (circa 9-10 mm). A questo punto per favorire lo scorrimento dell'innesto ed il suo pensionamento vengono imbastite le pastiche ossee con fili di sutura, e si misura la lunghezza totale del trapianto. Passo successivo è la plastica della gola intercondiloidea, per via artroscopia si esegue la rimozione del legamento residuo ed a questo punto si inserisce la fresa motorizzata nel portale mediale per attuare la plastica della gola. Nel risultato finale della ricostruzione del LCA gioca un ruolo fondamentale, la scelta del posizionamento del tunnel femorale e tibiale. Molteplici studi hanno

studiato la relazione tra il posizionamento dei tunnel e il risultato clinico, l'escursione articolare e l'eventuale impingement del trapianto. Da ciò si è visto che deve essere evitato un posizionamento anteriore femorale poiché comporta un'eccessiva rigidità all'impianto ed una limitazione alla flessione. Contestualmente, un tunnel tibiale troppo anteriore può comportare l'impingement dell'innesto e successiva rottura.

Tutto ciò ha portato ad identificare che il punto di inserzione del LCA sul piatto tibiale è circa a 7 mm anteriormente al bordo anteriore del LCP con ginocchio flesso a 90 gradi. Successivamente si passa ad eseguire il tunnel femorale, con un filo guida in posizione di "ore 1" nel ginocchio sinistro ed "ore 11" nel destro, 6-7 mm anteriormente alla posizione over the top a seconda delle dimensioni dell'innesto. Controllare il corretto posizionamento del tunnel in relazione all'integrità della corticale posteriore. A questo punto si può far passare l'innesto attraverso i rispettivi tunnel utilizzando i fili di sutura presenti sulle bratte ossee e si applica la giusta tensione all'impianto, controllando il ginocchio sia in estensione sia a 30 gradi di flessione. La fissazione dell'impianto avviene attraverso delle viti ad interferenza riassorbibili o metalliche.

Le complicanze si possono suddividere in intraoperatorie e postoperatorie. Le prime includono la frattura rotulea, l'errato posizionamento dei tunnel, la frattura della corticale posteriore femorale, la rottura dell'innesto e dei fili di sutura. Le postoperatorie includono la debolezza quadricipitale, la perdita dell'escursione completa articolare, il fallimento dell'impianto e l'avulsione del rotuleo e quadricipitale.

Ricostruzione con tendini flessori

La ricostruzione del LCA attraverso l'utilizzo dei tendini autologhi dei muscoli flessori è oramai ampiamente riconosciuta e descritta. In particolare il trapianto del semitendinoso e gracile quadruplicato ha molti vantaggi rispetto all'utilizzo di altri trapianti, infatti è dimostrata la maggiore resistenza e rigidità rispetto all' LCA normale o al trapianto di rotuleo. Inoltre, di notevole importanza è la preservazione dell'apparato estensore comportando una notevole diminuzione delle complicanze postoperatorie riguardanti il trapianto da rotuleo esposte precedentemente.

I tendini vengono prelevati attraverso un'incisione di circa 2 cm medialmente alla tuberosità tibiale anteriore. Si esegue una dissezione fino alla fascia del sartorio e dopo sua incisione i tendini vengono liberati dalla loro inserzione tibiale e ribaltati prossimalmente permettendo così la loro separazione ed imbastitura con filo di sutura non riassorbibile. I tendini tramite dissezione per via smussa vengono liberati dalla fascia sovrastante e dalle loro guaine ed infine possono essere prelevati tramite uno stripper smusso e ripuliti da eventuali residui muscolari. Sul tavolo servitore vengono preparati tagliandoli in modo da avere a disposizione una lunghezza finale di 24 cm e le estremità libere possono essere imbastite con filo di sutura. Infine i tendini vengono ripiegati su se stessi in modo da avere a disposizione un innesto quadruplicato e si passa alla misurazione per stabilire la dimensione del tunnel osseo. Successivamente in artroscopia si esegue la pulizia della gola e la rimozione dei residui del vecchio LCA. Si utilizza una guida tibiale per il posizionamento e l'introduzione del filo guida attraverso l'impronta della vecchia inserzione legamentosa, circa 5-7 mm anteriormente al LCP, e si alesa il tunnel con fresa cannulata. Il passo successivo è la preparazione del tunnel femorale,

utilizzando una guida inserita attraverso il tunnel tibiale e collocandola nella posizione “over-the-top” a ginocchio in flessione di 90 gradi.

La guida viene posta nella posizione corretta a seconda dell'arto interessato e si fresa fino alla corticale femorale anteriore e poi si pratica il tunnel fino a 35 mm di profondità. Generalmente la fissazione femorale viene effettuata mediante utilizzo di sistemi di fissazione a sospensione (Endobutto, Retrobutto, ACL Tighrope etc). Una volta effettuata l'introduzione dell'innesto tendineo a livello del condilo femorale laterale, vengono eseguiti diversi cicli di movimento prima della fissazione tibiale, che può essere ottenuta con placca e vite per tessuti molli o vite ad interferenza biorassorbibile, in estensione completa nel primo caso o a 20 gradi di flessione nel secondo. Nel post-operatorio l'ottima resistenza e fissazione dell'impianto insieme all'integrità del comparto estensore portano ad una riabilitazione abbastanza aggressiva.

Sono note anche in questo tipo di trapianto delle complicanze, tra le più comuni abbiamo la prematura amputazione dei tendini a causa dell'errore chirurgico di incidere tutti gli strati della fascia extratendinea che possono portare ad un errato stripping tendineo con successivo prelievo insufficiente prima del loro ventre muscolare. Il fallimento del

mezzo di fissazione ha da sempre rappresentato la maggiore preoccupazione dei chirurghi artroscopisti ed una delle ragioni per la quale molti sono riluttanti ad abbandonare la tecnica con il trapianto rotuleo. Infine, teoricamente l'utilizzo dei flessori può portare ad una debolezza dei muscoli flessori nel post-operatorio.

Ricostruzione con legamenti sintetici

I principali vantaggi legati all'utilizzo di un ligamento sintetico nella ricostruzione del LCA sono: il recupero immediato della stabilità, il rapido periodo riabilitativo e l'assenza di prelievo di strutture autologhe. Nel 1977 Jenkins et al. furono i primi ad utilizzare impianti costituiti in fibre di carbonio flessibili, tuttavia questo materiale pur presentando buone caratteristiche biomeccaniche presentava una scarsa biocompatibilità per la migrazione di particelle nell'organismo, prodotte dall'usura del materiale. Per ovviare a questo problema le fibre di carbonio furono rivestite di collagene o polimeri riassorbibili (copolimero di acido poli-lattico e

policaprolattone). L'utilizzo di protesi di fibre di carbonio rivestito garantivano buoni risultati a breve termine riducendo i problemi correlati all'usura del materiale; studi clinici a medio termine, hanno evidenziato un elevato tasso di fallimenti meccanici dovuti alla rottura della protesi, per cui l'utilizzo del carbonio è stato abbandonato. Un altro materiale utilizzato per la ricostruzione del LCA è il Gore-Tex®, (PTFE) in singola fibra espansa e successivamente arrotolata. Studi meccanici dimostrano che questa fibra è tre volte più resistente del legamento naturale ed inoltre è anche più resistente ai test di rottura ed alla fatica. Studi effettuati da Woods et al. hanno evidenziato che a 2 anni di follow-up c'era un fallimento del 10%, mentre a 3 anni c'era un fallimento del 33%. In letteratura il LCA in Gore-Tex® ha riportato una percentuale di buoni risultati variabile dal 60 al 80% ed è tuttora approvato dalla FDA (Food and Drugs Administration) per l'utilizzo in pazienti nei quali la ricostruzione dell'LCA con legamento biologico non ha dato dei buoni risultati. Anche il Dacron®, è stato utilizzato come scaffold per la ricostruzione del legamento crociato anteriore; questo impianto era costituito da quattro strisce di poliestere intrecciate saldamente ed avvolte in una guaina di tessuto vellutato intrecciato in maniera lassa e disegnato

appositamente per ridurre l'attrito durante i cicli e contemporaneamente fornire un buon supporto alla ricrescita del tessuto fibroso. In uno studio su 41 pazienti condotto da Lukianov et al. con un follow up di 28 mesi si dimostra che il 75% dei pazienti presentavano una buona stabilità articolare (Lachmann e test del cassetto negativi); studi successivi come quello eseguito da Richmond et al. hanno invece evidenziato elevati tassi di fallimento a medio-lungo termine (follow-up 50 mesi) per il cedimento meccanico dell'impianto. Il Leeds-Keio Artificial Ligament, sviluppato da Fujikawa e Seedhom alla fine degli anni '80, è composto da una maglia in poliestere ancorata a femore e tibia con bratte ossee. La maglia in poliestere agisce da scaffold per la ricrescita del tessuto sia nella parte intra che extra articolare del legamento. Negli studi di follow up, tale device ha dimostrato un elevato tasso di fallimento dopo circa un anno dall'impianto, dovuto al cedimento meccanico della protesi. Il legamento impiantato infatti non determinava la crescita tissutale, ma si comportava solo come una "load-bearing prosthesis". Il Kennedy Ligament Augmentation device (LAD). Fu sviluppato da Kennedy et al. che ne introdussero il concetto già nel 1980 ;non rappresenta una protesi di legamento ma soltanto un augmentation da utilizzare durante la ricostruzione del LCA con graft

biologico. È composto da una striscia intrecciata di polipropilene che viene applicata in maniera tale da rinforzare la zona di minor resistenza del graft biologico: la zona prepatellare nel caso di ricostruzione con tendine rotuleo. Tale supporto fu sviluppato per proteggere il tessuto autogeno trapiantato dallo stress eccessivo nella fase iniziale di rimodellamento, caratterizzata da degenerazione e rivascolarizzazione. Il LAD veniva utilizzato sia nei prelievi di tendine rotuleo che in quelli di semitendinoso-gracile. Tale sistema si è dimostrato scarsamente biocompatibile determinando sia un'errata crescita delle fibre collagene autologhe, sia una importante reazione infiammatoria da corpo estraneo. Uno studio eseguito da Kumar et al. ha evidenziato una elevata incidenza di sinoviti con versamenti articolari recidivanti e la presenza di una zona di minor resistenza a livello della giunzione graft-legamento autologo, per tali motivi l'utilizzo del LAD è stato abbandonato. Tra i vari ligamenti di seconda generazione introdotti in commercio il LARS® è quello che per le sue caratteristiche strutturali più si avvicina all'anatomia ed alla meccanica del legamento crociato nativo. Studi clinici riguardo all'utilizzo del LARS® nella ricostruzione del LCA hanno evidenziato risultati molto incoraggianti sia a breve termine sia a medio-lungo termine con una

notevole diminuzione sia delle complicanze reattive (sinoviti) sia di quelle meccaniche (rotture dell'impianto e perdite di tenuta). LARS® (Ligament Advanced Reinforcement System) Il LARS® è costituito da fibre di polietilentereftalato (PET); un segmento intraosseo è costituito da fibre longitudinali unite insieme da una struttura a maglia trasversale, il segmento intra-articolare è composto da fibre longitudinali parallele arrotolate e piegate a 90°. L'innovazione più importante data dal LARS® è la sua similarità alla normale struttura del legamento crociato anteriore fisiologico, questo significa basso share stress per la protesi, dato dall'orientamento delle fibre libere nella porzione intrarticolare. Inoltre le fibre di PET nel loro segmento intrarticolare sono strutturate in modo tale da stimolare e fornire un buon supporto, per la ricrescita tessutale che è favorita dalla porosità del materiale; la ricrescita inizia a livello dei tunnel ossei. La ricrescita di tessuto tra le fibre del legamento contribuisce ad aumentarne la viscoelasticità ed a ridurre la frizione tra i tunnel ossei e le fibre stesse. In uno studio eseguito da Nau et al. Condotta a 2 anni di follow-up, mette a confronto la ricostruzione del legamento crociato anteriore con tendine patellare e quello con LARS®; ed i risultati sono che i pazienti operati col LARS® hanno un recupero più veloce e ritornano

con maggiore frequenza all'attività sportiva prima svolta. In uno studio fatto da Lavoie et al. su 45 pazienti di cui 38 con rottura cronica e 9 acuta e subacuta; con follow-up di 21,9 mesi nessun paziente ha avuto complicanze di tipo infiammatorio. Rispetto ai graft sintetici in uso negli anni '80 studi clinici hanno evidenziato che l'utilizzo del LARS® non presenta complicanze quali la comparsa di reazioni infiammatorie (sinoviti) e fallimenti meccanici precoci; tali complicanze infatti erano dovute ad una eccessiva usura del materiale che da un lato determinava la liberazione dei detriti responsabili della reazione infiammatoria e dall'altro provocava un progressivo indebolimento della protesi fino alla sua rottura. Le complicanze associate all'utilizzo del LARS sono analoghe a quelle che si verificano con l'utilizzo di altri tipi di graft come ad esempio: complicanze infettive, tromboemboliche, fallimenti dei sistemi di ancoraggio, mal posizionamento del graft. Indicazioni all'utilizzo del LARS® Nonostante siano già diversi anni che il LARS® viene utilizzato, non esistono ancora vere e proprie indicazioni, poiché ancora oggi non sono presenti studi a lungo termine sulle varie categorie di pazienti trattati con LARS®. Per tale motivo, il legamento sintetico è indicato in pazienti con età superiore a 35 anni che presentano una lesione primaria

stabilizzata del LCA, sintomatici e che necessitano di rapido recupero alle attività; un'altra indicazione all'utilizzo del ligamento sintetico è rappresentata dal fallimento di un precedente intervento chirurgico di ricostruzione del crociato anteriore con tecnica biologica.

Principi di ricostruzione attuale del LCA

Il LCA ha origine dalla zona pre-spinale del piatto tibiale e raggiunge, con un tragitto obliquo medio-laterale e antero-posteriore, la zona più alta e posteriore della faccia mediale del condilo laterale del femore. Da un punto di vista anatomico è costituito da due distinti fasci principali: il fascio antero-mediale (AM), che risulta maggiormente lungo e voluminoso ed è a stretto contatto con il legamento crociato posteriore, ed il fascio postero-laterale (PL), di dimensioni minori e che risulta quasi completamente coperto dal fascio AM. Dal punto di vista funzionale i due fasci hanno un comportamento diverso durante l'arco di movimento. Il fascio AM, infatti, a ginocchio flesso, sopporta la maggior parte del carico sui tre piani spaziali, mentre il fascio PL, oltre ad essere il principale controllore della rotazione tibiale, è lo stabilizzatore principale in estensione tra i 20° e 0°. Essi quindi entrano alternativamente in tensione nelle varie fasi di movimento, impedendo la lussazione tibiale anteriore. Sulla base di questi dati, molti ricercatori si sono indirizzati alla

ricostruzione del LCA con tecnica definita “anatomica”, e cioè con la riproduzione di una struttura finalizzata a riprodurre nel modo più fedele possibile il comportamento dinamico dei due fasci del LCA, che sembra condizionato principalmente dal sito di impianto del neo-legamento sul condilo femorale e dalla conseguente risposta delle due componenti nel corso della meccanica articolare. Pertanto, nel recente passato è stata introdotta la tecnica di ricostruzione del LCA con doppio fascio. Tale metodica si poneva come obiettivo quello di ricostruire simultaneamente il fascio AM e PL, con il fine principe di restituire al ginocchio una corretta anatomia del LCA, ripristinando la biomeccanica articolare. Teoricamente la tecnica di ricostruzione a doppio fascio ristabilendo una migliore cinematica articolare dovrebbe garantire un recupero migliore del ginocchio soprattutto in attività sportive ove la sollecitazione in rotazione del ginocchio sono elevate (es. calcio, basket, sci). Per contro la tecnica a doppio fascio è più indaginosa, allunga i tempi operatori e richiede ulteriori materiali per la fissazione dell’innesto. A dispetto dei buoni propositi della tecnica di ricostruzione a doppio fascio, i risultati clinici e funzionali riportanti in letteratura da diversi autori non sono stati particolarmente diversi rispetto alle tecniche a singolo fascio. Nella

fattispecie, è stato osservato che la tecnica a doppio fascio non era in grado di ripristinare la stabilità rotazionale del ginocchio in pazienti operati per lesione del LCA.

Tutto ciò ha contribuito a modificare la tecnica chirurgica di ricostruzione, che ha virato negli ultimi anni verso la ricostruzione anatomica del LCA a singolo fascio. Numerosi studi biomeccanici hanno dimostrato un miglioramento della cinematica del ginocchio e della stabilità attraverso il ripristino dell'orientamento del legamento nativo, accentuandone cioè l'obliquità durante la ricostruzione. Tutto ciò ha portato alla necessità di introdurre delle modifiche alla tecnica di creazione del tunnel femorale. In particolare diversi autori hanno osservato che la tecnica anteromediale per la creazione del tunnel femorale era la più indicata in quanto si era in grado di posizionare il tunnel stesso in maniera anatomica, ovvero in corrispondenza della radice femorale del LCA. Sebbene tale evenienza è stata comprovata da diversi autori, recentemente si è osservato una modifica della tecnica trans-tibiale cercando un miglioramento all'obliquità del tunnel femorale. Tra le modifiche accennate si è visto che l'abbassamento del tunnel femorale dalla posizione ad ore 11 alla posizione ad ore 10 ha evidenziato un controllo migliore dell'instabilità

rotatoria; la creazione di un tunnel tibiale con un angolo coronale tra i 65° e i 70° permette di ottenere una sufficiente obliquità del tunnel femorale; il punto di partenza tibiale debba essere localizzato tra il tubercolo tibiale e l'angolo postero-mediale della tibia ottenendo così un angolo coronale di circa 70°.

Sebbene entrambe le tecniche siano ampiamente utilizzate dai chirurghi, ad oggi esistono ben pochi risultati clinici comparando le due diverse tecniche chirurgiche e il posizionamento dei tunnel femorali.

L'obiettivo di questo studio è intraprendere un'analisi retrospettiva comparando i risultati clinici, funzionali e radiografici di due gruppi omogenei di atleti che hanno eseguito una ricostruzione artroscopica con flessori autologhi del crociato anteriore usando due differenti tecniche per la creazione del tunnel femorale attraverso l'approccio trans tibiale o anteromediale. L'ipotesi era che l'uso dell'approccio anteromediale fosse maggiormente vantaggioso rispetto al trans tibiale a livello clinico e funzionale e per la prevenzione di fenomeni degenerativi.

Materiali e metodi

Alla luce di queste considerazioni, lo scopo di questo studio è stato quello di valutare clinicamente i pazienti sottoposti a intervento chirurgico di ricostruzione del LCA mediante tecnica anteromediale e trans tibiale.

Dal settembre 2013 al novembre 2015 sono stati trattati presso l'UOC di Ortopedia e Traumatologia del Policlinico "AOUP" di Palermo, novanta pazienti con lesione LCA. I pazienti erano settantasei uomini e quattordici donne. L'età media era di 27aa (range 16-55). Tutti i partecipanti sono stati informati della procedura e la scopo dello studio.

I criteri d'inclusione nello studio sono stati i seguenti

- Chiusura delle fisi di accrescimento e età inferiore a 15 anni
- Nessuna chirurgia antecedente al ginocchio affetto escludendo meniscectomie parziali
- Ginocchio controlaterale sano

- Lesioni condrali inferiori al grado III di Outerbridge
- Assenza di malattie sistemiche
- Assenza di dolore rotuleo

La diagnosi di una lesione LCA è stata fatta clinicamente e confermata dalla risonanza magnetica e dall'artroscopia in tutti i pazienti. In tutti i pazienti la ricostruzione del LCA è stata eseguita mediante utilizzo dei tendini flessori, gracile e semitendinoso ed è stata effettuato da un solo chirurgo Ortopedico, esperto nella chirurgia del ginocchio. Dopo preparazione dei tunnel ossei, i tendini sono stati fissati a femore mediante sistema ACL Tighrope (Arthrex). La fissazione alla tibia è stata effettuata mediante utilizzo di vite ad interferenza riassorbibile (Arthrex).

In 30 pazienti il tunnel femorale è stato effettuato mediante tecnica transtibiale. Mentre nei restanti 30 pazienti, la creazione del tunnel femorale è stata effettuata mediante l'utilizzo della tecnica del portale accessorio anteromediale

Tunnel femorale anteromediale

La tecnica trans portale prevede l'utilizzo dell'accesso artroscopico antero-mediale per l'esecuzione del tunnel femorale.

Per l'esecuzione del tunnel femorale, il ginocchio viene posizionato a poco meno di 90° in flessione e il filo guida, sotto controllo artroscopico, viene inserito in corrispondenza del footprint del LCA sulla superficie mediale del condilo femorale laterale, 5-6 mm anteriormente rispetto alla posizione di over the top.

Ottenuto un saldo e stabile inserimento del filo guida all'osso del condilo femorale, si flette il ginocchio fino a 130° e il filo guida viene ulteriormente inserito nell'osso, fino a trapassare la corticale femorale della superficie laterale del condilo esterno.

Il foro di uscita nella superficie laterale del condilo esterno deve essere in posizione appena superiore rispetto alla radice del condilo femorale stesso.

La direzione del passaggio può essere controllata utilizzando un compasso da perforazione o palpando la zona desiderata per orientare la traiettoria del perforatore.

Lungo i fili guida collocati nell'osso tibiale e femorale, viene inserita una fresa e sotto visualizzazione artroscopia si preparano i tunnel femorale e tibiale.

Il calibro della fresa varia in base al diametro del trapianto ottenuto mediante prelievo dei tendini flessori (gracile e semitendinoso). La fissazione femorale è stata ottenuta mediante utilizzo del sistema ACL-tighrope, mentre la fissazione tibiale è stata effettuata mediante utilizzo di viti ad interferenza riassorbibili.

Il principale vantaggio di questa tecnica è la possibilità di eseguire il tunnel femorale senza vincoli direttamente dall'accesso artroscopico anteromediale e quindi di raggiungere più facilmente l'area d'inserzione femorale nativa. Inoltre nel caso si utilizzi come metodo di fissazione una vite a interferenza diventa più facile introdurla parallelamente al trapianto riducendo così il rischio di lesioni dello stesso.

La mancanza del vincolo tibiale al contempo espone a maggior rischio di eventuali danni iatrogeni durante l'esecuzione del tunnel femorale, dovuti proprio alla difficoltà nel mantenere stabile la posizione durante il passaggio in iperflessione del ginocchio, come ad esempio la fuoriuscita del tunnel dal muro posteriore del condilo femorale esterno con

conseguenti danni cartilaginei e possibili danni a strutture neuro vascolari nobili.

Tunnel femorale Transtibiale

Questa tecnica, largamente utilizzata per la ricostruzione del LCA, prevede l'utilizzo del tunnel tibiale per l'esecuzione del tunnel femorale. Poiché il filo guida per il tunnel femorale è introdotto attraverso il tunnel tibiale con apposita guida, la posizione e l'inclinazione del tunnel tibiale è cruciale per l'esecuzione del tunnel femorale.

Ciò è facilitato dalla flessione a 90° e oltre del ginocchio. La posizione ottimale per il tunnel femorale dovrebbe essere a ore 11 per il ginocchio destro e a ore 13 per il ginocchio sinistro e 5-6 mm anteriore al margine posteriore del condilo laterale. Una volta posizionato il filo guida, si procede alla creazione del tunnel femorale del diametro del trapianto ottenuto. Come per la tecnica anteromediale, la fissazione femorale è stata ottenuta mediante utilizzo del sistema ACL-tighrope, mentre la fissazione tibiale è stata effettuata mediante utilizzo di viti ad interferenza riassorbibili.

Il principale punto debole di questa tecnica è la dipendenza dell'orientamento del tunnel femorale da quello tibiale. Questo rapporto di dipendenza può portare a una limitazione della possibilità di effettuare una ricostruzione del LCA anatomica che rispetti le aree di inserzione native sia sul femore che sulla tibia.

Il punto d'inizio extra-articolare del tunnel tibiale è stato dimostrato essere il fattore più importante nel determinare l'orientamento del tunnel femorale. Il punto riconosciuto come estremità extra-articolare del tunnel tibiale potrebbe condizionare la corretta esecuzione del tunnel femorale fino a limitare a meno del 60% la copertura dell'area d'inserzione nativa da parte del tunnel femorale.

Per quanto riguarda invece l'inclinazione del tunnel tibiale è consigliabile un angolo di circa 65-70° per ottenere un adeguato orientamento del tunnel femorale e per allineare il trapianto quanto più possibile con l'asse del legamento nativo.

Programma di Riabilitazione

Il ginocchio è stato immobilizzato in un tutore per quattro settimane. Il tutore è stato bloccato a 0° per una settimana e sbloccato a 90° per tre settimane. I pazienti sono stati dimessi a casa il giorno dopo l'intervento chirurgico con concessione di carico parziale sulla gamba con l'utilizzo di stampelle, con le istruzioni per togliere il tutore per tre volte al giorno per eseguire esercizi isometrici di rafforzamento del quadricipite, stretching dei flessori del ginocchio, flessione attiva e passiva fino al 90° e la piena estensione delle ginocchia. Tutti i pazienti sono stati esaminati a due settimane dopo l'intervento. A quattro settimane, il tutore è stato rimosso, e si è raccomandato l'inizio di esercizi in acqua. La corsa è stata concessa a tre mesi e il ritorno allo sport da contatto a sei mesi.

Valutazione Clinica

La valutazione clinica del ginocchio operato è stata effettuata seguendo i parametri della scheda *Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score* (KOOS), della scheda *International Knee Documentation Committee* (IKDC) e dell'artrometro KT 1000 (Medmetric, San Diego, CA).

La KOOS è una scheda di autovalutazione clinica compilata dal paziente.

Si compone di 5 sezioni:

- Valutazione del dolore in termini di frequenza d'insorgenza, movimenti per i quali si manifesta, dolore notturno, dolore in posizione seduta o disteso, dolore in piedi;
- Valutazione della sintomatologia in termini di livello di rigidità mattutina o dopo periodo di inattività durante il giorno, frequenza con cui si gonfia il ginocchio, presenza di crepitii o click piegando il ginocchio, capacità di flessione-estensione attiva del ginocchio;
- Valutazione delle difficoltà nel compiere le attività quotidiane (salire e scendere le scale, alzarsi dalla sedia, camminare in piano, etc) nella settimana precedente al controllo;
- Valutazione dell'attività fisica e ricreativa effettuata nella settimana precedente
- Valutazione della qualità della vita relativamente al ginocchio operato.

Il risultato è espresso in punti su cento in ogni campo.

La scheda IKDC consta di due sezioni, che interessano rispettivamente la valutazione oggettiva e soggettiva del ginocchio. La prima parte riguardante la valutazione soggettiva consiste in un questionario al quale il paziente è invitato a rispondere. Le 18 domande contenute nel questionario riguardano:

- Sintomatologia
- Attività sportiva
- Funzione: scala da 0 a 10 VAS

Il punteggio finale è espresso in punti percentuali.

La parte riguardante la valutazione clinica oggettiva prevede un confronto del ginocchio interessato con il contro laterale e viene suddivisa in sette sezioni:

1. Valutazione dell'eventuale gonfiore del ginocchio
2. Valutazione del ROM, differenza rilevata tra ginocchio sano e operato.

3. Valutazione della stabilità articolare mediante manovre semeiologiche quali Lachman test, Pivot shift e stress manuale in varo-valgo.
4. Valutazione della presenza di crepitio rotuleo con eventuale dolore associato.
5. Valutazione della patologia a carico del sito di prelievo del trapianto.
6. Reperti radiologici a livello dell'articolazione.
7. Valutazione della funzionalità articolare e del recupero della forza muscolare eseguita con il “ one leg hop test”.

L'artrometro KT-1000 permette una valutazione oggettiva e riproducibile della traslazione anteriore della tibia rispetto al femore.

Valutazione radiografica

In tutti i pazienti è stato effettuato un controllo radiografico post-operatorio e la posizione dei tunnel a livello femorale è stata valutata mediante quanto descritto in letteratura. Inoltre, in tutti i pazienti è stato eseguito un esame TC per la valutazione sul piano coronale e sul piano assiale del posizionamento del tunnel femorale, permettendo di

confrontare risultato funzionale ottenuto, al fine di stabilire quale sia il decorso ottimale del trapianto all'interno dell'articolazione.

Risultati

Su novanta pazienti consecutivi che avevano subito la ricostruzione del LCA dal settembre 2013 al novembre 2015, sessanta sono stati arruolati nello studio. Trenta pazienti sono stati esclusi perché non rientravano nei criteri di inclusione dello studio. Trenta pazienti che avevano subito la tecnica TT per la ricostruzione del LCA (TT, gruppo 1; 28 pazienti di sesso maschile e 2 pazienti di sesso femminile), sono stati confrontati con 30 pazienti (26 pazienti di sesso maschile e 4 pazienti di sesso femminile) che avevano subito la tecnica AM per la ricostruzione del LCA (AM, gruppo 2). I 2 gruppi erano simili per età, sesso e livello di attività sportiva ($P > 0,05$). L'età media al momento dell'intervento è stata di 29 anni (range, da 17 a 43 anni, media, 29,6 anni) nel gruppo TT, e 28 anni (range da 19 a 45 anni, media, 28,9 anni) nel gruppo AM.

Non ci sono state differenze significative nei dati demografici tra i gruppi. I periodi di follow-up medio era 26,4 mesi nel gruppo TT 27,8 mesi nel gruppo AM (non significativo). All'ultima osservazione clinica, i punteggi

medi Lysholm e IKDC sono risultati in entrambi i gruppi significativamente migliorati rispetto ai valori basali. Non sono state osservate differenze nell'ambito della ROM del ginocchio operato rispetto al ginocchio sano, seppur in 3 pazienti nel gruppo TT presentassero un deficit ridotto della flessione completa. Nel gruppo 1 (TT), 22 pazienti hanno ripreso l'attività sportiva allo stesso livello pre-infortunio rispetto a 25 pazienti del gruppo 2 (AM). All'ultimo follow-up, tutti i pazienti che avevano ripreso l'attività sportiva a un livello più basso praticavano sport a basso impatto come il nuoto e il ciclismo.

Non abbiamo osservato complicanze chirurgiche postoperatorie in termini d'infezione o disturbi di guarigione delle ferite. All'ultimo follow-up, 2 pazienti del gruppo TT e 4 pazienti nel gruppo AM, avevano disturbi neurosensoriali legati all'interessamento al ramo infrapatellare del nervo safeno. Due pazienti del gruppo TT hanno riportato una ri-rottura del LCA occorsa entro 8 mesi dalla chirurgia (range, da 5 a 8 mesi) dalla chirurgia. Entrambi i pazienti sono stati sottoposti a revisione del LCA utilizzando gli hamstrings del ginocchio controlaterale. Questi pazienti hanno deciso spontaneamente di rinunciare a tutti gli sport, senza compromissione nelle attività quotidiane.

La valutazione radiografica del posizionamento del tunnel femorale è stata confrontata con le immagini TAC. Il centro del LCA nel gruppo TT era situato a una media del 22% (dal 18% al 25%) dell'altezza del condilo femorale laterale e del 19% (16% al 22%) lungo la linea Blumensaat. Nel gruppo AM, il centro del LCA era in media del 55% e il 30% dell'altezza del condilo femorale laterale e la linea Blumensaat, rispettivamente. Una diversa inclinazione del tunnel femorale è stata osservata nei due gruppi. All'ultimo follow-up, 8 pazienti nel gruppo TT e 3 pazienti nel gruppo AM hanno presentato cambiamenti degenerativi del ginocchio (grado I-II) in base al sistema di classificazione Fairbank, rispetto alla valutazione preintervento. Nessun paziente dei due gruppi ha presentato un grado III Fairbanks. In entrambi i gruppi, i pazienti con alterazioni degenerative non presentavano differenze significative rispetto alle scale Lysholm e IKDC e il ritorno allo sport.

Discussione

Questo studio ha mostrato che dal punto di vista clinico, la ricostruzione del LCA mediante esecuzione del tunnel femorale attraverso un portale AM o la tecnica TT fornisce risultati comparabili. In particolare, questo studio ha mostrato che a un minimo di 2 anni di follow-up, le ricostruzioni mediante tecnica AM e TT forniscono esiti funzionali comparabili in termini di Lysholm score e punteggi IKDC. Alcuni segni, quali, residuo di pivot shift e Lachman possono residuare (più frequentemente dopo ricostruzione TT). Tuttavia, non è stata osservata alcuna differenza statisticamente significativa comparando le due diverse tecniche chirurgiche. Allo stesso modo, la presenza di alterazioni degenerative alla valutazione radiografica nel follow-up finale è stata meno evidente dopo ricostruzione con tecnica AMP, ma la differenza non era statisticamente significativa rispetto al gruppo TT.

Anche se le metodiche di ricostruzione TT e AM sono state comparate ampiamente in diversi studi biomeccanici su cadavere, risultati clinici

presenti in letteratura sono insufficienti. Noi abbiamo confrontato risultati clinici e funzionali in 2 gruppi di pazienti che avevano subito la ricostruzione del LCA a singolo fascio con trapianto autologo (gracile e semitendinoso) utilizzando 2 diversi metodi di creazione del tunnel femorale, ovvero mediante tecnica trastibiale (TT) o mediante l'accesso anteromediale (AM). Abbiamo riscontrato che la creazione del tunnel femorale attraverso l'AM è in grado di migliorare la stabilità antero-posteriore e la stabilità rotazionale del ginocchio, con maggiori probabilità di tornare, per i pazienti trattati, al livello agonistico preoperatorio. Una lassità antero-posteriore anomala può essere ricondotta al posizionamento troppo anteriore dell'innesto sul femore, mentre un residuo di pivot shift potrebbe essere ricondotto a una posizione dell'innesto eccessivamente verticale sul piano coronale. In contrasto alle tecniche tradizionali TT, quando il tunnel è eseguito attraverso il portale AM l'apertura del tunnel risulta bassa e inferiore, vicino al centro del footprint in posizione anatomica, migliorando la cinematica del ginocchio. I vantaggi della tecnica AM sono diversi. Permette la creazione di due tunnel (tibiale femorale) modo indipendente, con un basso rischio di lesione della parete posteriore. Inoltre, le fibre residue del LCA possono essere conservate, e le

viti a interferenza possono essere poste parallelamente all'innesto osseo senza incisioni laterali. Tecnicamente, la tecnica TT richiede una plastica della gola accurata di visualizzare l'impronta femorale.

Al contrario, quando si esegue una ricostruzione AMP, il portale AMP permette di visualizzare l'impronta nativa del LCA senza la necessità di un'ampia plastica della gola.

Clinicamente, abbiamo osservato una maggiore stabilità rotazionale del ginocchio e una minore lassità in pazienti sottoposti a una procedura di ricostruzione mediante tecnica AM rispetto a quelli operati con tecnica TT.

I nostri risultati confermano quello che era già riportato da altri studi, sebbene risulta tutt'oggi alquanto discutibile se una differenza inferiore a 1 mm della lassità antero-posteriore sia in grado di determinare un risultato clinicamente rilevante. Infatti, all'ultimo follow-up, i punteggi Lysholm e IKDC erano paragonabili in entrambi i gruppi, che era in accordo con quanto già presente in letteratura. Tali risultati sono stati osservati sia a breve termine che a medio termine. Il ritorno allo sport si è verificato più rispetto a precedenti studi, ma abbiamo seguito i pazienti per un tempo più lungo, e probabilmente riflette gli elevati livelli di attività fisica originariamente intrapresa dai nostri pazienti. Tuttavia, come già riportato,

abbiamo osservato che un approccio TT potrebbe essere meno vantaggioso di un portale AM in termini di ritorno allo sport e mantenimento del livello attività nel medio-lungo termine.

Generalmente, l'esecuzione di un tunnel femorale attraverso il portale AM permette una migliore valutazione intraoperatoria del posizionamento dell'innesto, il quale deve essere posizionato correttamente al centro del footprint nativo, riducendo sollecitazioni e carichi eccessivi. Questo potrebbe essere il motivo per cui con la tecnica TT è associato maggiore rischio di ritiri da attività agonistica, sviluppo di degenerazioni e ritiro dallo sport. Tuttavia, non è chiaro, se il più alto tasso di sviluppo di alterazioni degenerative tra i pazienti che avevano subito una ricostruzione mediante tecnica TT è direttamente correlata al tipo di ricostruzione o il livello relativamente elevato di attività sportiva che i pazienti avevano continuato a praticare dopo la chirurgia.

Anche se le ricostruzioni con il portale AM sono più orizzontali nel piano coronale rispetto ricostruzioni usando la tecnica TT, l'obliquità dell'innesto nel piano sagittale non può essere ripristinato in maniera completa e l'innesto è significativamente più verticale rispetto all'ACL originale.

È impossibile ricostruire in vivo l'intero footprint, e non si sa se l'ipertrofia del trapianto dopo l'intervento chirurgico è rilevante a questo concetto.

Una recente revisione sistematica ha dimostrato che il concetto di ricostruzione "anatomica" LCA è mal definito. Quindi, nuovi studi sono necessari per aumentare la precisione e raggiungere l'obiettivo di ricostruzione anatomica ripristinando la normale funzione del LCA. In questo studio, la posizione del centro del LCA è stata valutata sulle radiografie sagittali utilizzando il metodo dei quadranti. Inoltre, la valutazione TC ci ha permesso di valutare in misura ancora più precisa il posizionamento del tunnel femorale. Nella valutazione radiografica menzionata, abbiamo osservato che il tunnel femorale era più inferiore e più anteriore nel gruppo AM rispetto al gruppo TT.

Sulla base dei risultati ottenuti, possiamo concludere che la creazione del tunnel femorale attraverso la tecnica AM è in grado di rispettare l'anatomia originale del LCA e la sua posizione è in grado di evitare un eccessivo stress per il trapianto e, presumibilmente, lo sviluppo di alterazioni degenerative. Al follow-up di 3 anni, abbiamo riportato una minore probabilità dello sviluppo dei cambiamenti degenerativi sulla valutazione radiografica dopo aver usato la tecnica AM, ma la necessità di trarre

conclusioni più definitive dovrebbero incoraggiare studi controllo randomizzati più opportunamente progettati a lungo termine.

Bibliografia

1. Albuquerque RF, Sasaki SU, Amatuzzi MM, Angelini FJ. Anterior cruciate ligament reconstruction with double bundle versus single bundle: Experimental study. *Clinics (Sao Paulo)* 2007;62:335-344.
2. Arnold MP, Verdonchot N, van Kampen A. ACL graft can replicate the normal ligament's tension curve. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005;13:625-631.
3. Belisle AL, Bicos J, Geaney L, et al. Strain pattern comparison of double- and single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction techniques with the native anterior cruciate ligament. *Arthroscopy* 2007;23: 1210-1217.
4. Diermann N, Schumacher T, Schanz S, Raschke MJ, Petersen W, Zantop T. Rotational instability of the knee: Internal tibial rotation under a simulated pivot shift test. *Arch Orthop Trauma Surg* 2009;129:353-358.

5. Gadikota HR, Seon JK, Kozanek M, et al. Biomechanical comparison of single-tunnel-double-bundle and singlebundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med* 2009;37:962-969.
6. van Eck CF, Samuelsson K, Vyas SM, van Dijk CN, Karlsson J, Fu FH. Systematic review on cadaveric studies of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:S101-S108.
7. Maffulli N, Del Buono A. Anterior cruciate ligament tears in children. *Surgeon* 2013;11:59-62.
8. Papalia R, Osti L, Del Buono A, Denaro V, Maffulli N. Management of combined ACL-MCL tears: A systematic review. *Br Med Bull* 2010;93:201-215.
9. Bedi A, Raphael B, Maderazo A, Pavlov H, Williams RJ III. Transtibial versus anteromedial portal drilling for anterior cruciate ligament reconstruction: A cadaveric study of femoral tunnel length and obliquity. *Arthroscopy* 2010;26: 342-350.
10. Celentano U, Cardoso MP, Martins CA, et al. Use of transtibial aimer via the accessory anteromedial portal to identify the center of the ACL footprint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012;20:69-74.

11. Howell SM, Gittins ME, Gottlieb JE, Traina SM, Zoellner TM. The relationship between the angle of the tibial tunnel in the coronal plane and loss of flexion and anterior laxity after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2001;29:567-574.
12. Lee MC, Seong SC, Lee S, et al. Vertical femoral tunnel placement results in rotational knee laxity after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2007;23: 771-778.
13. Scopp JM, Jasper LE, Belkoff SM, Moorman CT III. The effect of oblique femoral tunnel placement on rotational constraint of the knee reconstructed using patellar tendon autografts. *Arthroscopy* 2004;20:294-299.
14. 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;32:1825-1832.
15. Zantop T, Kubo S, Petersen W, Musahl V, Fu FH. Current techniques in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2007;23:938-947.

16. Herbort M, Lenschow S, Fu FH, Petersen W, Zantop T. ACL mismatch reconstructions: Influence of different tunnel placement strategies in single-bundle ACL reconstructions on the knee kinematics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010;18:1551-1558.
17. Giron F, Cuomo P, Edwards A, Bull AM, Amis AA, Aglietti P. Double-bundle “anatomic” anterior cruciate ligament reconstruction: A cadaveric study of tunnel positioning with a transtibial technique. *Arthroscopy* 2007;23:7-13.
18. Cha PS, Brucker PU, West RV, et al. Arthroscopic double bundle anterior cruciate ligament reconstruction: An anatomic approach. *Arthroscopy* 2005;21:1275.
19. Alentorn-Geli E, Samitier G, Alvarez P, Steinbacher G, Cugat R. Anteromedial portal versus transtibial drilling techniques in ACL reconstruction: A blinded cross-sectional study at two- to five-year follow-up. *Int Orthop* 2010;34:747-754.
20. Xu Y, Ao Y, Wang J, Yu J, Cui G. Relation of tunnel enlargement and tunnel placement after single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2011;27:923-932.

21. Chhabra A, Kline AJ, Nilles KM, Harner CD. Tunnel expansion after anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous hamstrings: A comparison of the medial portal and transtibial techniques. *Arthroscopy* 2006;22: 1107-1112.
22. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* 1985;198: 43-49.
23. Hefti F, Muller W, Jakob RP, Staubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993;1:226-234.
24. Osti L, Papalia R, Del Buono A, Amato C, Denaro V, Maffulli N. Good results five years after surgical management of anterior cruciate ligament tears, and meniscal and cartilage injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010;18:1385-1390.
25. Osti L, Papalia R, Del Buono A, Leonardi F, Denaro V, Maffulli N. Surgery for ACL deficiency in patients over 50. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:412-417.
26. Osti L, Papalia R, Del Buono A, Merlo F, Denaro V, Maffulli N. Simultaneous surgical management of chronic grade-2 valgus instability of

the knee and anterior cruciate ligament deficiency in athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010;18:312-316.

27. Capuano L, Hardy P, Longo UG, Denaro V, Maffulli N. No difference in clinical results between femoral transfixation and bio-interference screw fixation in hamstring tendon ACL reconstruction. A preliminary study. *Knee* 2008;15: 174-179.

28. Gougoulias N, Khanna A, Griffiths D, Maffulli N. ACL reconstruction: Can the transtibial technique achieve optimal tunnel positioning? A radiographic study. *Knee* 2008;15:486-490.

29. Bernard M, Hertel P, Hornung H, Cierpinski T. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg* 1997;10:14-22.

30. Fairbank TJ. Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br* 1948;30B:664-670.

31. Hussein M, van Eck CF, Cretnik A, Dinevski D, Fu FH. Prospective randomized clinical evaluation of conventional single-bundle, anatomic single-bundle, and anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: 281 cases with 3- to 5-year follow-up. *Am J Sports Med* 2012;40:512-520.

32. Basdekis G, Abisafi C, Christel P. Influence of knee flexion angle on femoral tunnel characteristics when drilled through the anteromedial portal during anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2008;24:459-464.
33. Bottoni CR, Rooney RC, Harpstrite JK, Kan DM. Ensuring accurate femoral guide pin placement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 1998;27:764-766.
34. Gavriilidis I, Motsis EK, Pakos EE, Georgoulis AD, Mitsionis G, Xenakis TA. Transtibial versus anteromedial portal of the femoral tunnel in ACL reconstruction: A cadaveric study. *Knee* 2008;15:364-367.
35. Hantes ME, Zachos VC, Liantzis A, Venouziou A, Karantanas AH, Malizos KN. Differences in graft orientation using the transtibial and anteromedial portal technique in anterior cruciate ligament reconstruction: A magnetic resonance imaging study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;17:880-886.
36. Markolf KL, Hame S, Hunter DM, et al. Effects of femoral tunnel placement on knee laxity and forces in an anterior cruciate ligament graft. *J Orthop Res* 2002;20:1016-1024.

37. Charalambous CP, Kwaees TA. Anatomical considerations in hamstring tendon harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *Muscles Ligaments Tendons J* 2012;2:253-257.
38. Dargel J, Schmidt-Wiethoff R, Fischer S, Mader K, Koebke J, Schneider T. Femoral bone tunnel placement using the transtibial tunnel or the anteromedial portal in ACL reconstruction: A radiographic evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;17:220-227.
39. Loh JC, Fukuda Y, Tsuda E, Steadman RJ, Fu FH, Woo SL. Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: Comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. 2002 Richard O'Connor Award paper. *Arthroscopy* 2003;19:297-304.
40. Lovric V, Kanazawa T, Nakamura Y, Oliver R, Yu Y, Walsh WR. Effects of gaps induced into the acl tendon graft on tendon-bone healing in a rodent ACL reconstruction model. *Muscles Ligaments Tendons J* 2011;1:91-99.
41. Harner CD, Honkamp NJ, Ranawat AS. Anteromedial portal technique for creating the anterior cruciate ligament femoral tunnel. *Arthroscopy* 2008;24:113-115.

42. Lubowitz JH. Anteromedial portal technique for the anterior cruciate ligament femoral socket: Pitfalls and solutions. *Arthroscopy* 2009;25:95-101.
43. 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;23:1326-1333.
44. Felmet G. Anatomic double bundle single tunnel foreign material free aCL-reconstructionA technical note. *Muscles Ligaments Tendons J* 2011;I:148-152.
45. Siebold R. The concept of complete footprint restoration with guidelines for single- and double-bundle ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:699-706.
- 46.V. Chouliaras and H. H. Passler, "The history of the anterior cruciate ligament from Galen to double-bundle acl reconstruction," *Acta Orthopaedica et Traumatologica Hellenica*.
- 47.G. A. Snook, "A short history of the anterior cruciate ligament and the treatment of tears," *Clinical Orthopaedics and Related Research*, vol. 172,

48.R. Galleazzi, “La ricostituzione dei ligamenti cociati del ginocchio,” *Atti e Memorie della Società Lombarda di Chirurgia*, vol. 13, pp. 302–317, 1924.

49.J. H. McMaster, C. R. Weinert Jr., and P. Scranton Jr., “Diagnosis and management of isolated anterior cruciate ligament tears: a preliminary report on reconstruction with the gracilis tendon,” *Journal of Trauma*, vol. 14, no. 3, pp. 230–235, 1974.

50.W. Campbell, “Repair of the ligaments of the knee: report of a new operation for the repair of the anterior cruciate ligament,” *Surgery, Gynecology & Obstetrics*, vol. 62, pp. 964–968, 1936.

51.L. C. Abbott, J. B. M. Saunders, F. C. Bost, and C. E. Anderson, “Injuries to the ligaments of the knee joints,” *The Journal of Bone and Joint Surgery. American*, vol. 26, pp. 503–521, 1944.

52.K. G. Jones, “Reconstruction of the anterior cruciate ligament using the central one-third of the patellar ligament,” *Journal of Bone and Joint Surgery. American*, vol. 52, no. 4, pp. 838–839, 1970.

53.H. Brückner, “A new method for plastic surgery of cruciate ligaments,” *Chirurg*, vol. 37, no. 9, pp. 413–414, 1966.

54.K. Franke, "Clinical experience in 130 cruciate ligament reconstructions," *Orthopedic Clinics of North America*, vol. 7, no. 1, pp. 191–193, 1976.

