

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA
“ TOR VERGATA ”**



FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

**DOTTORATO DI RICERCA IN
MALATTIE DELL'APPARATO LOCOMOTORE
XXI CICLO - AA.AA. 2005/2006 - 2006/2007 - 2007/2008**

**STUDIO ANATOMICO
SUL TRAPIANTO MENISCALE ESTERNO:
UNA TECNICA INNOVATIVA SVILUPPATA
PER VIA ARTROSCOPICA**

DOTT. LUDOVICO PANARELLA

TUTOR: PROF. UMBERTO TARANTINO

**STUDIO ANATOMICO SUL TRAPIANTO MENISCALE
ESTERNO: UNA TECNICA INNOVATIVA SVILUPPATA PER
VIA ARTROSCOPICA**

INDICE

A- INTRODUZIONE

B- STUDIO BIBLIOGRAFICO

B1- CRITERI BIOMECCANICI

B2- CRITERI ANATOMICI

Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4

B3- ANALISI ISTOLOGICA

B4- TECNICHE

COME FISSARE LE CORNA MENISCALI?

ESTRUSIONE MENISCALE

Fig. 5, Fig. 6

**COME VALUTARE LA TAGLIA DEL TRAPIANTO
MENISCALE?**

C- STUDIO SPERIMENTALE

C1- PREMESSA

C2- CONDIZIONI SPERIMENTALI

C3- PREPARAZIONE DEL TRAPIANTO

Fig. 7, Fig. 8

C4- TECNICA ARTROSCOPICA

C4a- VIE D'ACCESSO

C4b- PREPARAZIONE DEI TUNNEL

TUNNEL TIBIALE POSTERIORE

TUNNEL TIBIALE ANTERIORE

Fig. 9, Fig. 10

C4c- INTRODUZIONE DEL TRAPIANTO MENISCALE

C4d- SUTURA PERIFERICA

SUTURA SEGMENTO POSTERIORE

Fig. 11

SUTURA SEGMENTI MEDIO E ANTERIORE

Fig. 12

C5- DISCUSSIONE

Fig. 13

D- BIBLIOGRAFIA

STUDIO ANATOMICO SUL TRAPIANTO MENISCALE ESTERNO: UNA TECNICA INNOVATIVA SVILUPPATA PER VIA ARTROSCOPICA

A- INTRODUZIONE

La gestione delle lesioni meniscali si è evoluta notevolmente nel corso degli ultimi due decenni, in virtù della introduzione nella pratica clinica delle nuove conoscenze acquisite sul ruolo e sulle funzioni meniscali. Conservare i menischi ha una duplice finalità: preserva le superfici articolari dalla degenerazione artrosica e conserva la stabilità del ginocchio. Si è così sviluppato il concetto di risparmio meniscale che ha progressivamente sostituito le meniscectomie alle meniscectomie totali e ha favorito lo sviluppo delle suture meniscali nelle lesioni riparabili. Il trapianto meniscale si inserisce quindi nel prosieguo di questo principio di risparmio meniscale. È stato sviluppato con lo scopo di interrompere o di ritardare l'artrosi nelle situazioni in cui una meniscectomia totale era stata realizzata in precedenza oppure quando il grado di danno meniscale è tale che una riparazione non è più indicata. Può essere portato a termine secondo due approcci o "filosofie" differenti, l'uno con tecnica convenzionale gestita per via artrotomica, l'altro secondo un approccio controllato per via artroscopica. Nessuna delle due tecniche ad oggi, ha dato prova della sua superiorità. Tutte le serie cliniche riportano comunque dei risultati incoraggianti con una diminuzione netta del dolore ed un miglioramento della funzione articolare del ginocchio nelle attività della vita quotidiana, confermando l'interesse di questa alternativa terapeutica. Ciò nonostante, persiste una limitazione funzionale con un'incapacità parziale (difficoltà nella corsa, nel salto, nell'accovacciata) con riduzione della qualità della vita e del livello di

attività al controllo clinico finale che necessita di un adattamento dello stile di vita dei pazienti (1). È dunque indispensabile proseguire le ricerche ed i lavori sperimentali per migliorare ulteriormente i risultati acquisiti.

Il nostro lavoro ha comportato due aspetti. Il primo è lo studio bibliografico che ha permesso di definire parametri meccanici e tecnici da rispettare nel corso dell'esecuzione di un trapianto meniscale, analizzando sistematicamente le tecniche esistenti. La seconda parte corrisponde ad uno studio anatomico con la messa a punto di una tecnica originale del trapianto meniscale esterno, eseguita interamente per via artroscopica.

I menischi permettono una trasmissione migliore delle spinte biomeccaniche, assicurano la congruenza articolare, hanno un ruolo di ammortizzatori, di lubrificatori, permettono il nutrimento dei condrociti e hanno anche un ruolo stabilizzatore del ginocchio.

Numerosi studi (1, 4, 19, 33, 47) hanno riportato gli effetti deleteri a lungo termine di una meniscectomia totale così come la correlazione tra lo sviluppo dell'artrosi ed il ruolo di una precedente meniscectomia. Jorgensen et al. (22) in uno studio prospettico sviluppato su una popolazione di atleti precedentemente sottoposti ad una meniscectomia totale, hanno riportato un'incidenza della degradazione osteocartilaginea radiografica dal 40% a 5 anni all'89 % a 15 anni. Sottolineano come altri autori che questa degradazione avviene preferibilmente dopo una meniscectomia esterna. Questo si spiega con il fatto che il menisco interno ha un ruolo maggiormente di stabilizzatore del ginocchio, mentre il menisco esterno ha un ruolo più importante nella trasmissione che nella ripartizione delle forze biomeccaniche, quindi le meniscectomie totali esterne hanno

un'incidenza più elevata di artrosi secondaria rispetto alle meniscectomie totali mediali.

Durante la deambulazione normale, la superficie articolare del ginocchio sopporta 6 volte il peso del corpo, di cui 70 % di questo carico è assorbito dal piatto tibiale mediale (2, 3). Nelle condizioni fisiologiche il menisco esterno sopporta il 60% del carico applicato al compartimento esterno, contro il 40 % per il menisco mediale nelle medesime condizioni. Il menisco trasmette il 50 % delle forze biomeccaniche quando il ginocchio è in estensione ed il 90 % quando il ginocchio è in flessione. Un difetto meniscale porta inevitabilmente allo sviluppo precoce dell'artrosi per via dell'aumento considerevole dei picchi pressori imposti al compartimento meniscectomizzato e per via della diminuzione dell'aria di contatto. Una perdita del solo 20% del menisco può condurre ad un aumento delle forze di contatto del 350% (2, 3, 35).

Allo scopo di prevenire questa evoluzione e di ristabilire la funzione biomeccanica dei menischi, numerosi autori hanno ipotizzato la possibilità di trapiantare il menisco. Così Milachowski e Wirth hanno proposto, oltre 20 anni fa i primi trapianti meniscali. Partendo dagli studi sperimentali su animali di laboratorio, sono stati condotti successivamente degli studi biomeccanici quindi dei trials clinici, prevalentemente in Europa e negli Stati Uniti. I risultati preliminari sono risultati incoraggianti. Le analisi recentemente pubblicate riportano dei risultati a lungo termine e confermano l'interesse rivolto ai trapianti meniscali (59).

Il ruolo condroprotettore del MAT (Meniscal Allograft Transplantation) sembra importante (24). Se alcuni autori nordamericani o europei (51, 52, 53, 56, 57, 60, 61, 63) hanno maturato un'importante esperienza in questo argomento, in Italia resta poco

praticato ed il suo posto nel trattamento della malattia degenerativa artrosica dell'articolazione del ginocchio rimane da definire.

La sua indicazione principale è la sindrome monocompartimentale femoro-tibiale dolorosa dopo meniscectomia totale mediale e, maggiormente, laterale (12, 13), principalmente nei pazienti con ginocchia normoassiate, in cui un'ostiotomia correttiva non è indicata. Quest'intervento si rivolge quindi a pazienti giovani, meglio se di età inferiore ai 45 aa, affetti da un'artrosi femoro-tibiale isolata grado ½ di Outerbridge, normoassiate e con ginocchio stabile (25, 34). Quando l'asse meccanico non è corretto e/o il ginocchio è instabile, è indicato ricorrere ad un'osteotomia correttiva e ad una ricostruzione legamentosa, eventualmente associabile, più di frequente nello stesso tempo chirurgico, a maggior ragione se si tratta di un trapianto meniscale mediale. L'instabilità al pari di un'asse meccanico dell'arto inferiore anormale, producono un sovraccarico del trapianto e possono rendersi responsabili di danni vascolari che conducono alla degenerazione ed alla disinserzione del trapianto. Infine, lo stadio della patologia artrosica è un elemento di importanza prognostica maggiore al punto che un'artrosi grado 3 o 4 di Outerbridge rappresenta una controindicazione assoluta con un tasso di fallimento elevato, anche se questo non è condiviso da tutti gli autori (10, 12, 16, 18, 20).

Numerosi punti restano ancora senza una risposta definitiva, in particolare riguardo alla tecnica più affidabile, più semplice e meno invasiva per la realizzazione di questo trapianto.

B- STUDIO BIBLIOGRAFICO

B1- CRITERI BIOMECCANICI

La maggiorparte degli autori concordano sul fatto che solo un impianto anatomico di un trapianto meniscale di taglia corrispondente al menisco nativo può restituire una cinematica normale, restaurare le superfici di contatto, e permettere quindi una migliore ripartizione delle forze ed una funzione più adeguata (41). Solo Van Arkel accorda una importanza ridotta alla taglia del trapianto (45, 46).

Una fissazione sicura ed efficace delle corna anteriore e posteriore del menisco è essenziale per resistere e trasformare le forze assiali applicate su menisco durante la messa in carico delle spinte circonferenziali. La capacità del menisco di conservare la sua integrità di posizione permette di avere un compito importante nella suddivisione delle forze. Così sembra sia preferibile, quanto meno da un punto di vista biomeccanico, fissare il trapianto con bratte ossee piuttosto che con una semplice fissazione tessutale (14, 21). Malgrado queste acquisizioni, alcune tecniche non permettono di restaurare dei contatti biomeccanici normali.

Infine, risulta che:

la meniscectomia totale esterna diminuisce l'area di contatto del 45% - 50% e aumenta il picco di forze focali del 235% - 335%. La sostituzione con un trapianto meniscale aumenta l'area di contatto del 42% - 65% rispetto ai valori registrati dopo meniscectomia TLM (meniscectomia totale esterna). Persiste comunque una diminuzione del 17% - 23% a livello dell'area di contatto se comparata ad un ginocchio sano. Non si è certi della possibile riduzione di questo

differenziale al miglioramento delle tecniche di fissazione. Il picco pressorio focale diminuisce del 55% - 65% rispetto ad un ginocchio che abbia subito una meniscectomia totale, ma resta significativamente maggiore rispetto al ginocchio sano.

Dopo resezione delle inserzioni delle corna anteriori e posteriori, i risultati sono simili a quelli della TLM. Durante la messa sotto carico, le forze assiali producono una estrusione laterale del menisco. In conseguenza tutti i vantaggi biomeccanici della sostituzione meniscale con trapianto sono vanificati dalla insufficiente fissazione delle corna meniscali.

Alhalki (3) riporta dei risultati simili ed insiste sulla necessità di reinserire le corna meniscali tramite bratte ossee. Sorprendentemente sembra che il contatto meccanico non sia migliorato dall'aggiunta di suture meniscali periferiche. Così l'ancoraggio delle corna meniscali sembra essere il determinante più importante per restaurare un contatto meccanico normale. Gli sforzi per migliorare questo contatto devono essere concentrati su un posizionamento anatomico delle bratte ossee e sul miglioramento della rigidità di fissazione delle corna meniscali.

Tuttavia, benchè la tecnica di fissazione influenzi il contatto meccanico al momento dell'impianto, rimane da dimostrare la sua tenuta nel tempo dopo cicatrizzazione ed integrazione del trapianto (dai 3 ai 6 mesi post-operatori).

Daltronde la semplice fissazione delle corna meniscali con sutura favorirebbe l'estrusione meniscale durante la messa in compressione sotto carico a causa di un ancoraggio meno valido.

Una sutura periferica adeguata al muro meniscale residuo non protegge dall'estrusione meniscale durante la messa in compressione sotto carico. Se il bordo meniscale periferico fosse l'interfaccia di

contrasto all'estrusione meniscale, il restauro dei contatti meccanici dopo trapianto meniscale dovrebbe essere sovrapponibile sia con semplice sutura che con fissazione mediante bratta ossea.

Chen (14) in uno studio biomeccanico ha dimostrato che l'assenza di fissazione delle corna meniscali dopo trapianto meniscale genera dei risultati sulla superficie di contatto e sui picchi di forza simili a quelli ottenuti dopo meniscectomia totale che, come noto, genera un aumento dei picchi pressori dell'ordine del 60% (da $198\text{N}/\text{cm}^2$ sulla superficie meniscale intatta a $319\text{N}/\text{cm}^2$ dopo meniscectomia).

B2- CRITERI ANATOMICI

L'anatomia topografica delle inserzioni menisco tibiali e le relative relazioni sulle strutture intrarticolari adiacenti sono state analizzate in uno studio anatomico artroscopico condotto da Johnson et al. nel 1995 (21). Ha determinato inoltre quali sono le vie d'accesso più adatte per la visualizzazione di ogni inserzione meniscale. Per il menisco esterno (LM), posizionando l'ottica attraverso la via d'accesso antero laterale si visualizzano al meglio le corna meniscali anteriore e posteriore.

Kohn et al. (26, 27) nello stesso periodo hanno precisato l'anatomia delle inserzioni meniscali. L'inserzione del corno anteriore del menisco esterno è sempre confusa in parte con l'inserzione tibiale del legamento crociato anteriore, descrive una superficie cilindrica (in media 93mm +/-25) mentre l'inserzione del corno posteriore del menisco esterno, di forma appiattita e slargata (in media 115 mm +/-51) e di forma, si trova in un'area compresa tra le pendici posteriori del tubercolo intercondiloideo laterale e del tubercolo intercondiloideo mediale.

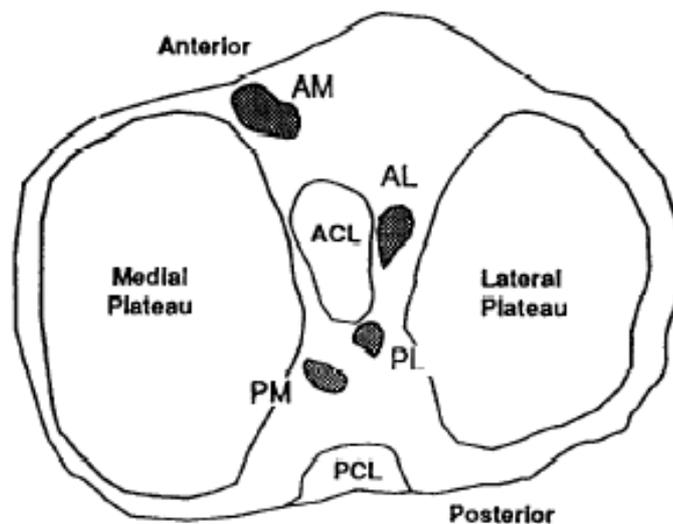


Fig. 1 : Immagine assiale del piatto tibiale destro che mette in evidenza l’inserzione delle corna meniscali. Possiamo notare la prossimità delle inserzioni delle corna meniscali esterne con l’inserzione del legamento crociato anteriore. Possiamo notare inoltre, la prossimità reciproca delle due corna.

In “Insertion-Site Anatomy of the Human Menisci Gross, Arthroscopic, and Topographical Anatomy as a Basis for Meniscal Transplantation” (21).

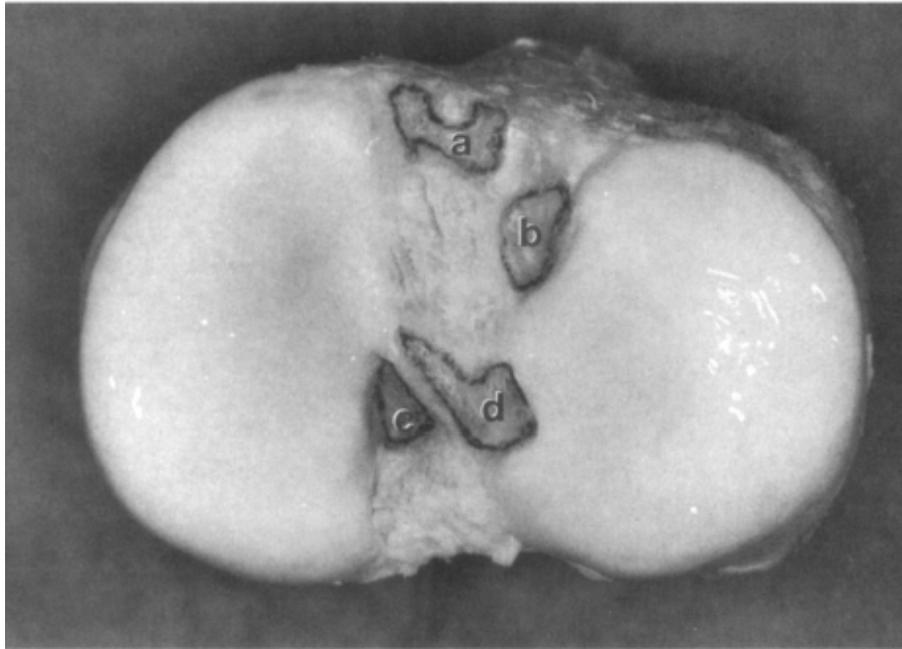


Fig. 2 : Immagine superiore del piatto tibiale destro con exeresi dei menischi e dei legamenti crociati. Le aree d'inserzione meniscale sono evidenziate: a. inserzione anteriore del corno meniscale mediale (aMMI). b. inserzione anteriore del corno meniscale laterale (aLMI). c. inserzione posteriore del corno meniscale mediale (pMMI). d. inserzione posteriore del corno meniscale laterale (pLMI).

In “Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement. A morphological cadaveric study” (27).

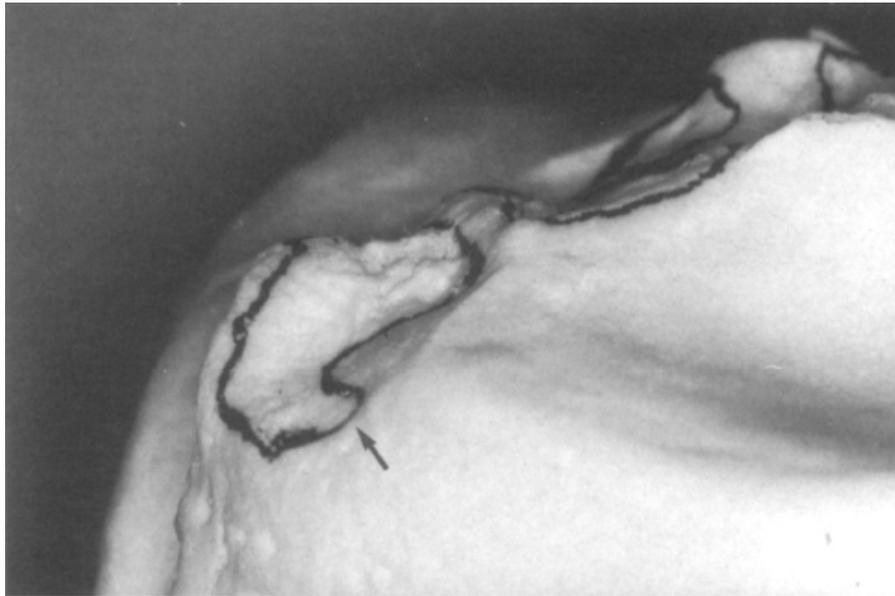


Fig. 3 : Immagine di $\frac{3}{4}$ mediale. Individuazione dell'inserzione tibiale del aMMI.

In “Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement. A morphological cadaveric study” (27).

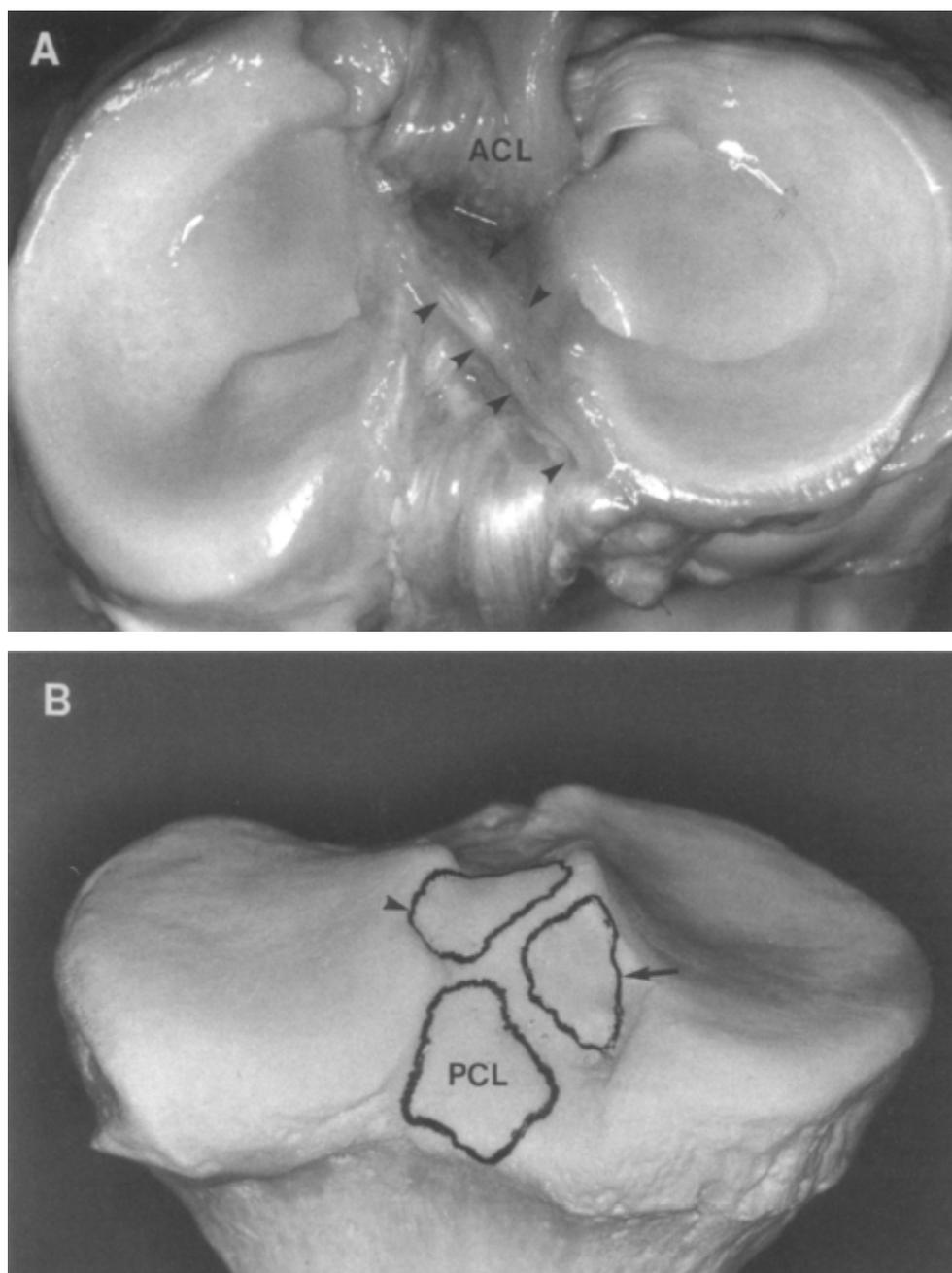


Fig. 4 : A. corno posteriore del menisco esterno e legamento crociato anteriore. B. superficie d’inserzione del corno posteriore del menisco laterale (freccia), superficie d’inserzione del legamento crociato posteriore, superficie d’inserzione del corno posteriore del menisco mediale (testa di freccia).

In “Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement. A morphological cadaveric study” (27).

L'inserzione anatomica del corno posteriore del menisco laterale è la più complessa per via delle interconnessioni con i legamenti menisco-femorali anteriore di Humphrey e posteriore di Wrisberg che sono rispettivamente presenti nel 37% e nel 76% dei casi. Per via di queste relazioni anatomiche è più difficile restituire l'anatomia esatta del menisco laterale.

Per Verdonk (54, 55) le caratteristiche anatomiche del compartimento femoro-tibiale esterno sono tali da richiedere un'attenzione maggiore nel trattamento delle lesioni del menisco esterno rispetto al menisco mediale. In effetti la convessità del condilo femorale si articola con il piatto tibiale esterno ugualmente convesso, quindi l'area di contatto tra le due superfici articolari si proietta su un piano largo unicamente per la presenza del menisco laterale la cui forma è quasi perfettamente circolare, detta ad « O », rispetto alla superficie del menisco mediale. Detta congruenza menisco-femorale è ritenuta essenziale.

Urban (44) in uno studio anatomico su soggetti non trattati in formalina, mediante analisi radiografiche, ha precisato l'anatomia topografica delle inserzioni ossee delle corna meniscali. Queste informazioni facilitano il posizionamento adeguato dei nostri tunnel tibiali. Comprendere l'anatomia delle corna meniscali è un requisito importante da studiare per ricostruire con successo il menisco. Per il menisco esterno, sulle radiografie in proiezione antero-posteriore, le corna anteriori e posteriori appaiono « sovrapposte » ed allineate l'una dietro l'altra nell'asse della spina tibiale esterna. Sulle radiografie in proiezione laterale, le corna del menisco laterale sembrano essere

strettamente associate, separate tra loro dalla sola spina tibiale laterale.

L'importanza del posizionamento adeguato del trapianto è confermato dallo studio di Sekaran (39) in cui un difetto di posizionamento del trapianto di soli 5 mm (in particolare nel piano trasversale) produce un aumento anomalo delle forze biomeccaniche di contatto, probabilmente all'origine di alcuni fallimenti chirurgici precoci (58, 62).

B3- ANALISI ISTOLOGICA

L'analisi istologica dei campioni crio-preservati di trapianto meniscale omologo impiantati conferma la rivascolarizzazione e la ricolonizzazione del trapianto dalle cellule dell'ospite ma anche una diminuzione del numero di fibro-condrociti maggiore del 50% associata ad una diminuzione delle loro attività biologica di sintesi che sarebbe all'origine della maggiore vulnerabilità del trapianto, ma senza carattere peggiorativo sull'evoluzione clinica (8, 9, 17).

I risultati clinici a lungo termine dei trapianti meniscali omologhi sembrano strettamente legati alla rivascolarizzazione ottimale del trapianto alla sua vitalità. Questa rivascolarizzazione avviene dalla periferia partendo dal muro meniscale capsulare ed è all'origine della ricolonizzazione cellulare come dimostrato da Arnoczky (5, 6, 7) dal suo studio dopo sostituzione del menisco mediale canino dove l'attività cellulare e metabolica del trapianto torna ad uno stato normale dai 3 ai 6 mesi dopo il trapianto.

Il trapianto meniscale ha lo scopo di restaurare il funzionamento delle articolazioni menisco-femorali, menisco-tibiale e femoro-tibiale mediante l'impianto anatomico di un sostituto meniscale stabile. La capacità di restauro del contatto meccanico « normale » dipende da numerose variabili ed in particolare dal posizionamento, dalla fissazione e dalla geometria.

La tecnica chirurgica influenza la biomeccanica articolare. Indipendentemente dalla tecnica adottata, l'obiettivo resta l'impianto anatomico di un sostituto meniscale stabile.

B4- TECNICHE

Due proposte tecniche sono attualmente adottabili: le tecniche assistite sotto controllo artroscopico e le tecniche così dette a cielo aperto. I primi casi di trapianto meniscale sotto controllo artroscopico risalgono al 1987, quelli a cielo aperto risalgono al 1984 con dei risultati incoraggianti per l'epoca (18, 21, 23, 48, 64).

Le tecniche assistite dall'artroscopia sembrano, in letterature, preferibili per l'impianto di un trapianto meniscale laterale. Si tratta di tecniche meno invasive per l'impianto, con precisione massimale, dell'inserzione ossea delle corna meniscali anteriore e posteriore. Queste tecniche riducono la morbilità del gesto chirurgico, preservano la continuità delle strutture legamentose e rispettano il muro capsulo-sinoviale periferico. Permettono inoltre una rieducazione e una riabilitazione più semplici e precoci.

COME FISSARE LE CORNA MENISCALI?

Due correnti "filosofiche" si oppongono: quella in cui la fissazione avviene tramite due bratte ossee o una barretta ossea singola oppure quella in cui la fissazione si basa sulle parti molle adiacenti senza bratte permettendo in quest'ultimo caso un adattamento più semplice alla taglia del trapianto (14, 15, 39, 44, 62).

Si tratta di un punto insoluto che ha posto problema sin dai primi casi realizzati. In effetti, Keene (23) pur illustrando la fattibilità tecnica del trapianto meniscale assistito per via artroscopica, riportava come unica riserva quella di risolvere il problema della fissazione delle corna.

La maggior parte degli autori raccomanda una fissazione ossea mediante bratte ossee o barretta ossea singola e questa impostazione segue precisamente la direzione degli studi biomeccanici. Tuttavia, dei risultati clinici validi sono stati ugualmente ottenuti quando l'impianto è fissato unicamente alla capsula o ai residui delle corna meniscali native.

Un'altra corrente di pensiero intermedia consiste nella fissazione del sostituto senza bratte ma attraverso dei tunnel tibiali.

Quando si adotta la fissazione con bratte ossee, il posizionamento deve essere strettamente adeguato. Quel che si deduce dai lavori su animali da esperimento, corrisponde a quanto appena riportato, in particolare, una posizione inadeguata delle corna meniscali conduce irrimediabilmente ad una degenerazione cartilaginea a seguito delle alterazioni significative delle pressioni da contatto (30).

La fissazione del trapianto meniscale deve essere stabile, quindi necessita di un posizionamento solido delle corna meniscali, in assenza del quale, la mancata cicatrizzazione porta inevitabilmente al fallimento del trapianto.

Alcuni autori hanno proposto di associare lo shaving periferico del piatto tibiale fino ad esporre l'osso subcondrale per l'intera lunghezza del menisco al fine di preparare un letto vascolare di osso spongioso per il trapianto che, da una parte favorirebbe, accelererebbe e migliorerebbe la cicatrizzazione e, d'altra parte stabilizzerebbe il trapianto. I risultati a breve termine sembrano più favorevoli. Altri autori hanno proposto la fissazione del segmento medio del trapianto meniscale attraverso un terzo tunnel tibiale (15).

Queste varianti tecniche s'inseriscono nella direzione della fisiologia meniscale ed in particolare coniugano l'importanza del trapianto

fissato solidamente e permanentemente al livello delle corna meniscali e la tutela della mobilità (mobilità in direzione antero-posteriore di 12 mm in flessione per il menisco laterale) e dunque evitano le fissazioni troppo « rigide ». D'altronde la fissazione capsulare periferica non sembra porre problematiche maggiori come dimostrato negli studi su animale da esperimento e sui trials clinici nell'uomo. Tuttavia numerosi studi riportano delle complicazioni di tipo lesione traumatica secondaria del segmento meniscale posteriore correlate con una cicatrizzazione insufficiente del trapianto (29, 32, 38, 43).

La fissazione ossea del trapianto può essere ugualmente realizzata utilizzando una barretta ossea sulla quale permangono le inserzioni delle corna anteriore e posteriore. Questo è possibile per via della prossimità delle rispettive inserzioni. Numerosi autori raccomandano questa fissazione. La barretta è inserita in una trincea ritagliata su misura nella porzione superiore del piatto tibiale, inserita a « press-fit » oppure posizionata nella maniera corretta e successivamente fissata con vite interferenziale. Questa tecnica è stata messa a punto tenendo conto del rischio potenziale di crollo del ponte osseo residuo durante la realizzazione dei tunnel indipendenti nella tecnica alternativa, ed inoltre del rischio corollario di compromissione della successiva fissazione ossea. I difensori di questa tecnica mettono al primo posto la semplicità d'inserimento della barretta e la capacità di fissare nella posizione desiderata il trapianto stesso mantenendo la corretta relazione anatomica tra le corna. L'utilizzazione della barretta ossea permetterebbe al menisco una migliore resistenza alle pressioni circonferenziali dunque una diminuzione delle forze di contatto. Un ulteriore vantaggio è rappresentato dalla assoluta indipendenza della porzione metafisaria dei tunnel realizzati con l'altra tecnica ed il focolaio osteotomico, qualora sia necessaria la realizzazione di un'osteotomia tibiale prossimale associata alla MAT (Meniscal

Allograft Transplantation). Altri pensano che la sola tecnica artroscopica per l'impianto del trapianto non permetta la preparazione di una depressione ossea di qualità sufficiente, in particolare nella sua porzione più profonda. Il trapianto può trovarsi posizionato in una situazione sopraelevata rispetto al piatto tibiale con una ripercussione biomeccanica tale da indurre una possibile degenerazione cartilaginea precoce. Si evidenzia che i rapporti anatomici di prossimità tra le inserzioni delle corna meniscali e dei legamenti crociati anteriore e posteriore possono rendere di difficile esecuzione l'impianto in una posizione di rispetto assoluto dell'anatomia del trapianto senza ledere le strutture adiacenti.

Infine, alcuni autori rinforzano la fissazione del corno anteriore con una sutura sul residuo del corno nativo con un'ancora mini-Mitek®.

In conclusione, la fissazione ossea sembra preferibile in quanto permette una stabilità primaria maggiore attraverso la stabilizzazione e la cicatrizzazione osso con osso, una probabile mobilità meniscale più simile al menisco nativo, garantendo comunque una lotta all'estrusione meniscale. La realizzazione delle bratte ossee sembra preferibile in un contesto di trapianto meniscale sotto controllo artroscopico.

ESTRUSIONE MENISCALE

Il problema dell'estrusione meniscale (cf. Fig. 5 e 6), a lungo studiato da René Verdonk mediante analisi RMN ed ecografiche (28, 49, 50), appare controllato in maniera valida dalle tecniche artroscopiche con fissazione del trapianto mediante bratte ossee, estrusione di 1 caso su 12 casi valutati con RMN da Stollsteimer (42). Negli impianti eseguiti

con tecnica artrotomica, 60% dei casi hanno riportato un'estrusione meniscale, in particolare a carico del segmento medio e del corno anteriore, secondo Verdonk (49).

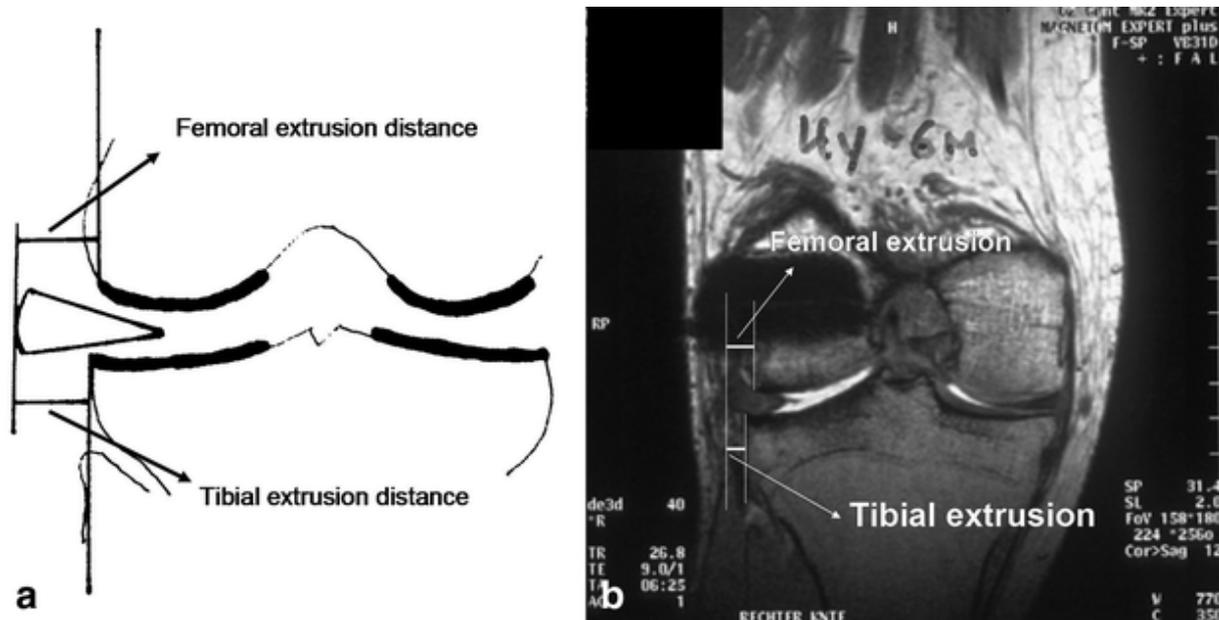


Fig. 5 : Estrusione meniscale laterale studiata con RMN sulla sezione coronale.

In “Normal and transplanted lateral knee menisci: evaluation of extrusion using magnetic resonance imaging and ultrasound” (49).

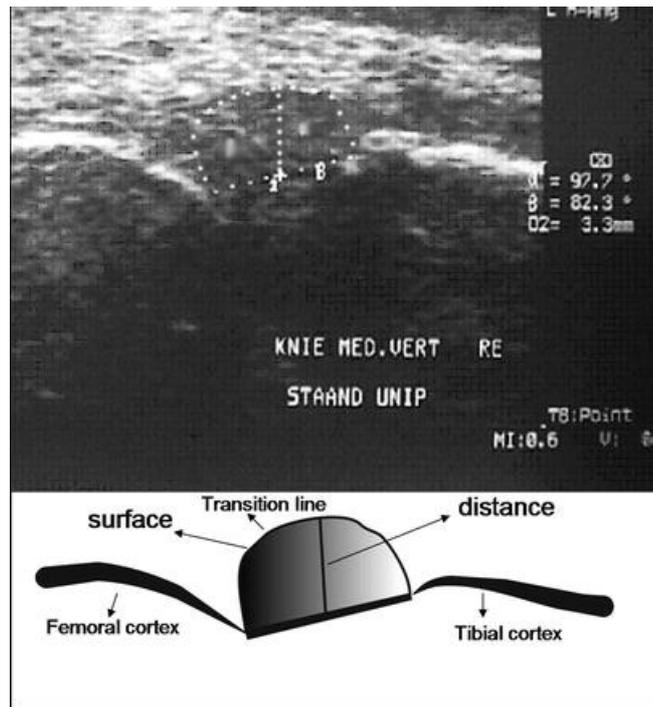


Fig. 6 : L’estrusione meniscale studiata sotto controllo ecografico in tre posizioni anatomiche differenti (decubito supino, appoggio bipodalico, appoggio monopodalico) con la sonda posizionata immediatamente dietro al legamento collaterale.

In “Normal and transplanted lateral knee menisci: evaluation of extrusion using magnetic resonance imaging and ultrasound” (49).

COME VALUTARE LA TAGLIA DEL TRAPIANTO MENISCALE?

Dalle radiografie standard si determina agevolmente la taglia del trapianto meniscale. Le misurazioni preoperatorie precise sono realizzate a partire da radiografie nelle proiezioni antero-posteriore e laterale, posizionando un repere di amplificazione radiografica sulla cute al livello dell'epifisi prossimale tibiale. L'obiettivo è di minimizzare l'errore differenziale di taglia tra il trapianto meniscale ed il menisco nativo. La tecnica descritta da Pollard (36) è utilizzata correntemente e permette di ottenere una taglia adeguata del trapianto in oltre 95% dei casi. L'ottenimento di un trapianto di taglia adeguata è attualmente ritenuta la chiave di volta per ottimizzare tanto il posizionamento e la sopravvivenza del trapianto quanto il ruolo condroprotettore dell'intervento stesso (37).

C- STUDIO SPERIMENTALE

C1- PREMESSA

La realizzazione di un trapianto meniscale esterno per via interamente artroscopica necessita dello sviluppo di una tecnica originale. Abbiamo perseguito il suddetto obiettivo mediante la realizzazione di due half-tunnel indipendenti ed ortogonali scavati in direzione in-out con tecnica retrograda mediante le sole vie d'accesso standard antero-mediale e antero-laterale.

Dopo una revisione della letteratura, abbiamo selezionato le tecniche più adeguate alla messa a punto della nuova metodica e, per validare l'affidabilità tecnica, abbiamo condotto uno studio anatomico su cadavere.

Abbiamo così potuto verificare il posizionamento e l'orientamento dei tunnel ed abbiamo determinato il tipo di sutura più affidabile per ottenere una fissazione periferica soddisfacente.

C2- CONDIZIONI SPERIMENTALI

Trattasi di uno studio anatomico condotto presso il Laboratorio di Anatomia dell'Università François Rabelais di Tours, in Francia, in collaborazione con il Prof. Philippe Burdin. Sei ginocchia destre e 6 ginocchia sinistre sono state prelevate in 12 soggetti freschi le cui articolazioni non avevano subito nessun precedente intervento chirurgico e sono state quindi destinate al nostro studio sperimentale. Una banca del menisco è stata messa a nostra disposizione. Si trattava di estremità prossimali di tibia prelevate con il complesso inserzionale menisco-legamentoso-capsulare e crio-preserved. Questo metodo di prelievo ci ha permesso di confrontare l'anatomia meniscale con

quella descritta in letteratura e di prelevare i menischi in condizioni simili alle normali sedute operatorie.

C3- PREPARAZIONE DEL TRAPIANTO

Una cura particolare è richiesta nella preparazione del trapianto al fine di prelevare un menisco che conservi l'insieme delle inserzioni sulle corna anteriore e posteriore.

Il tessuto sinoviale è dissezionato per via smussa sul trapianto meniscale alla congiunzione menisco-sinoviale. La porzione superficiale del trapianto è evidenziata con il blu di metilene per riconoscere facilmente il corno anteriore, il corno posteriore e lo iato popliteo e poter quindi avere dei reperi semplici una volta introdotto in articolazione.

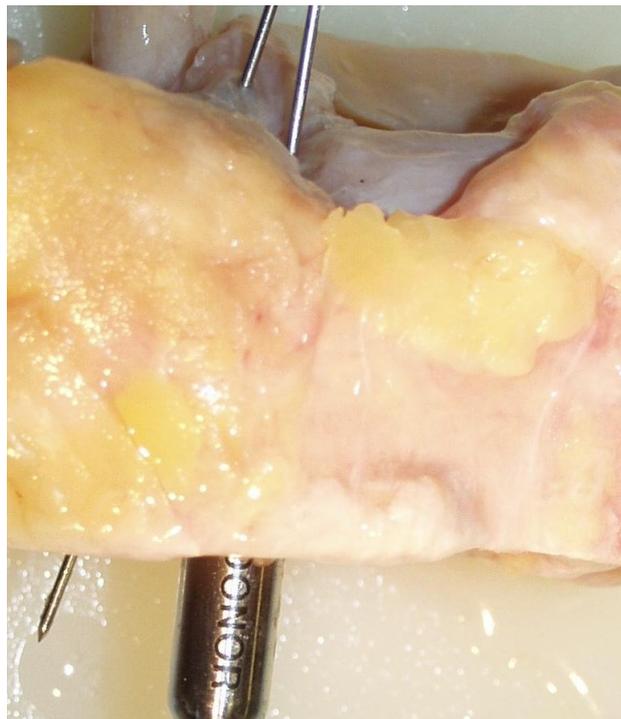
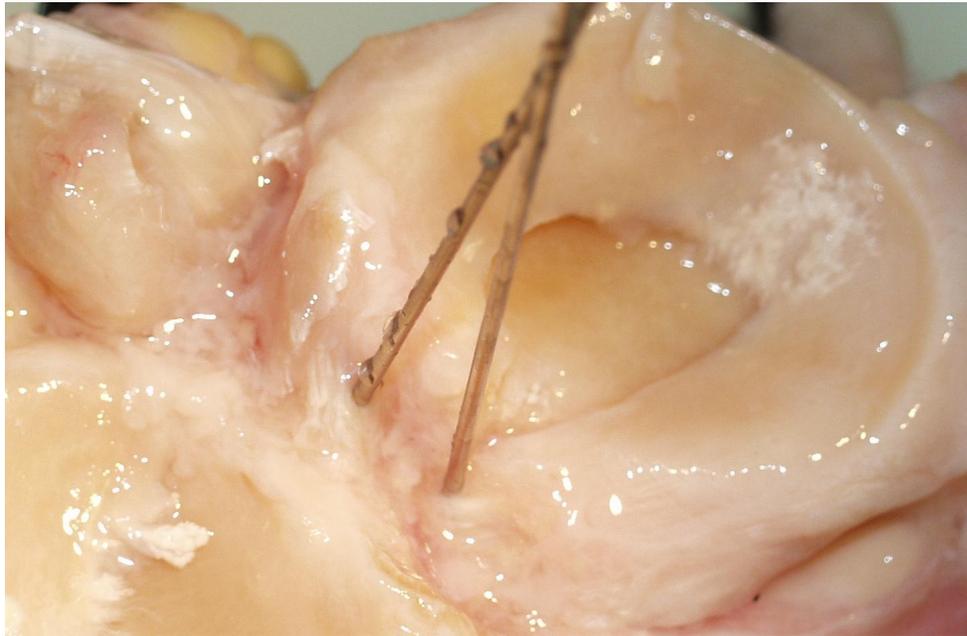
I primi due casi sono stati realizzati senza bratta ossea, fissando direttamente le corna meniscali all'interno dei tunnel trans-ossei. Le difficoltà essenziali riscontrate sono state legate al tensionamento del trapianto al livello dei fili di sutura inseriti sulle corna meniscali ed ugualmente alla fissazione del segmento posteriore di un trapianto apparentemente "instabile".

Sulla base di quest'esperienza e nella misura in cui la letteratura sembra attestarsi su studi biomeccanici a favore del trapianto meniscale con reinserzione tramite barretta ossea o bratte ossee indipendenti, le successive 10 fissazioni meniscali sono state eseguite mediante prelievo di un trapianto con 2 bratte ossee circolari ed indipendenti. Questa tecnica delle bratte indipendenti ci è parsa preferibile in quanto riproduce al meglio l'anatomia topografica, rispetta maggiormente il legamento crociato anteriore e conserva il bone-stock epifisario tibiale.

Il problema più frequentemente riscontrato è stato quello del trapianto di taglia inadeguata (31). È necessario prestare grande attenzione al prelievo di bratte ossee mediali quanto più è possibile, restando tuttavia correttamente centrati sulle inserzioni ossee delle corna. Una volta disinserito il menisco dalle sue inserzioni periferiche, viene sollevato per visualizzare correttamente tutta l'area d'inserzione ossea delle corna. È preferibile delimitare questa zona dalla superficie ventrale del menisco, tenuto conto dei legami stretti esistenti tra il legamento crociato anteriore ed il corno meniscale anteriore, e tra il corno meniscale posteriore ed i legamenti crociati anteriore e posteriore.

Una mini-fresa perforata da 1,5 mm è posizionata dalla superficie profonda dell'epifisi prossimale tibiale alla superficie articolare, centrandola sulla zona d'inserzione del corno. Una fresa circolare carotatrice tipo trephine di 8 mm è allora introdotta centrandola sulla mini-fresa per completare il prelievo di una bratta ossea di 8 mm di diametro e di 5 mm – 10 mm di profondità. Un filo di tipo fiber-wire diametro 2 è preparato sulle inserzioni delle corna anteriore e posteriore con punti ad U. Con un sistema tipo lasso montato all'interno della fresa perforata, si recuperano le estremità del filo di fiber-wire e questo permette una buona tenuta della bratta senza fragilizzare lo stesso segmento osseo.

Un terzo filo di PDS diametro 0 è posizionato al livello della porzione intermedia del segmento meniscale medio al fine di permettere un dispiegamento del trapianto durante l'introduzione attraverso il portale artroscopico ed un miglior adattamento del trapianto stesso alla periferia capsulare durante la sutura meniscale.



Figg.7 e 8 : Preparazione del trapianto: il menisco conserva l'insieme delle inserzioni sulle corna anteriore e posteriore.

C4- TECNICA ARTROSCOPICA

C4a- VIE D'ACCESSO

L'ottica è inserita attraverso l'accesso trasversale esterno esteso su 1,5 cm di larghezza e la via strumentale mediale è mantenuta classicamente longitudinale. L'inversione delle vie d'accesso è tuttavia frequente durante l'intera procedura chirurgica.

C4b- PREPARAZIONE DEI TUNNEL

Tramite una guida tradizionale da ricostruzione del legamento crociato anteriore tipo ACUFEX® si posizionano i tunnel tibiali mediante 2 incisioni cutanee indipendenti di circa 5 mm.

TUNNEL TIBIALE POSTERIORE

Il tragitto del tunnel tibiale posteriore è ascendente, in direzione antero-posteriore e medio-laterale, al fine di ottenere un punto d'uscita immediatamente posteriore e leggermente laterale alla superficie posteriore del legamento crociato anteriore. L'angolazione della guida è posizionata a 60°. Una fresa di 9 mm di diametro tipo "retro-cutter" è posizionata sul filo-guida specifico. La profondità del tunnel è scavata in funzione della lunghezza della bratta prelevata ed è, in generale, da 5 mm a 10 mm più profonda della bratta, al fine di avere un margine di regolazione del tensionamento del trapianto e di poter aggiustare piccoli difetti di taglia meniscale.

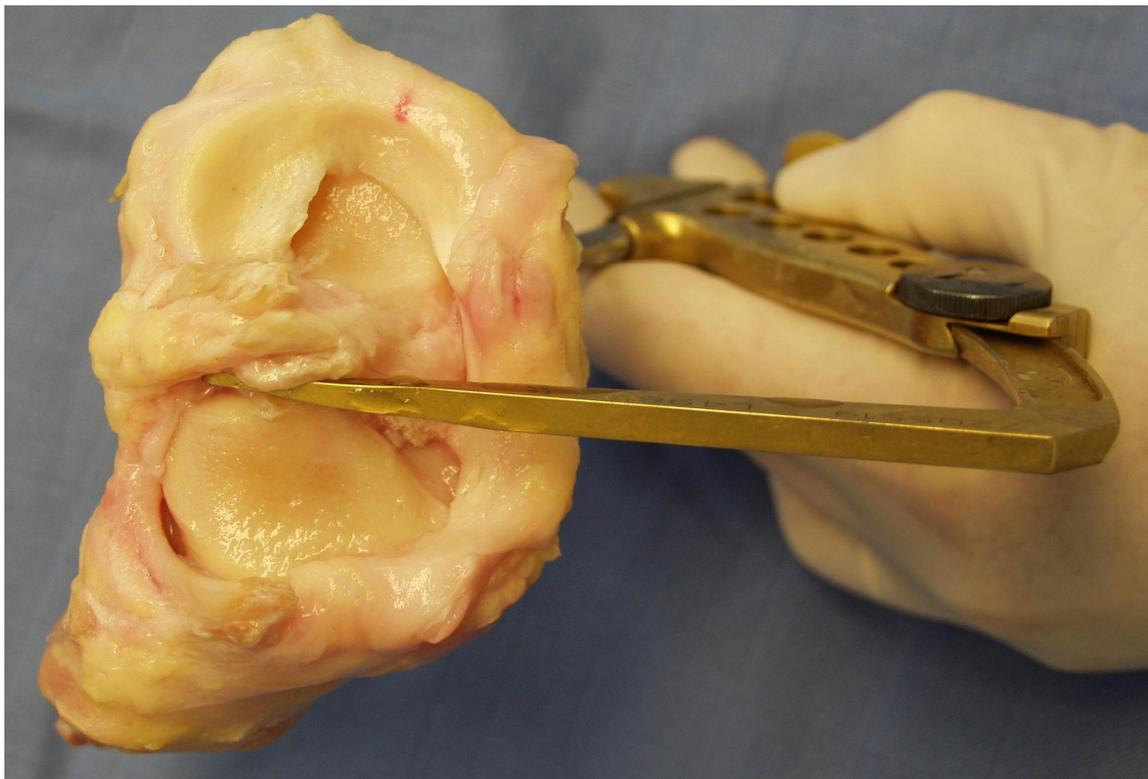


Fig. 9 e 10 : Preparazione dei tunnel tibiali Tramite mediante una guida tradizionale da ricostruzione del legamento crociato anteriore tipo ACUFEX®.

TUNNEL TIBIALE ANTERIORE

Una seconda incisione maggiormente mediale e posteriore è realizzata per il tunnel tibiale anteriore che si trova così angolato a 90° rispetto al tunnel tibiale posteriore. Il filo-guida è orientato in senso medio-laterale, caudo-craniale e parallelo all'asse trasversale dell'articolazione. L'orientamento del filo assume quindi un'asse perpendicolare alle fibre del legamento crociato anteriore e risulta quindi trasversale all'asse delle fibre di inserzione del corno meniscale anteriore. L'angolazione della guida è posizionata adesso a 45°. L'estremità della guida è inoltre addossata alla superficie anteriore dell'inserzione tibiale del legamento crociato anteriore, in posizione lievemente laterale, sulla superficie articolare anteriormente alla spina tibiale. Un half-tunnel di 9 mm di diametro viene quindi realizzato con la medesima tecnica descritta in precedenza. Per facilitare l'introduzione delle bratte è fondamentale preparare i fori di uscita dei tunnel con uno shaving sistematico.

C4c- INTRODUZIONE DEL TRAPIANTO MENISCALE

Alla rimozione della fresetta “retro-cutter”, si introduce all'interno del filo-guida perforato un lasso retrogrado, sul quale è fissato un filo PDS diametro 0 duplicato. Mediante questo sistema passa-fili, si recuperano i 2 fili di fiber-wire preparati sulle corna posteriore e anteriore passando all'interno dei rispettivi tunnel. Per via percutanea, sotto la guida di un ago da spinale, si introduce dall'esterno verso l'interno un passa-fili retto sul margine laterale del piatto tibiale esterno, in corrispondenza della porzione anteriore del tendine popliteo.

Si passa quindi il doppio PDS per recuperare il terzo filo precedentemente preparato sul segmento meniscale medio.

Una volta recuperati i 3 fili e monitorizzando con attenzione il twisting e l'incrocio dei rispettivi fili, il trapianto viene accompagnato attraverso la via d'accesso laterale. In un primo tempo e sotto controllo artroscopico, viene introdotta la bratta ossea posteriore posizionandola esattamente in corrispondenza del tunnel rispettivo. Successivamente si esercita una trazione moderata sul terzo filo, introducendo contemporaneamente e progressivamente il segmento anteriore mediante trazione più energica sui fili della bratta anteriore. Il segmento posteriore si presenta quindi, nella maggior parte dei casi, lussato anteriormente a tipo "lesione a manico di secchia". Mediante l'uncino-palpatore, la lussazione viene gentilmente ridotta ed il menisco si dispiega in posizione anatomica. Il compartimento esterno diventa quindi nuovamente visibile in tutto il suo ambito con un menisco normo-rappresentato. Stressando leggermente il ginocchio in varo-stress, la manovra appena descritta risulta generalmente agevole. Dopo aver ripetutamente adattato il ginocchio mediante movimenti ciclici di flesso-estensione, per circa 10 volte, è possibile aggiustare il posizionamento del menisco con manovre opportune eseguite sui 3 fili di trazione ed aiutandosi con l'uncino-palpatore.

Il tensionamento adeguato dei differenti fili di trazione permette di fissare temporaneamente il trapianto con 3 pinze tipo Kelly all'emergenza delle rispettive vie d'accesso.

C4d- SUTURA PERIFERICA

SUTURA SEGMENTO POSTERIORE

Tramite i sistemi di sutura automatici tipo FAST-FIX® si riescono a posizionare agevolmente 2 o 3 suture del segmento posteriore fino al tendine del popliteo. Un'ultima sutura può essere generalmente posizionata anteriormente al tendine. Si comincia preferibilmente dal punto immediatamente posteriore al tendine popliteo e si progredisce in successione fino al corno posteriore. Questo permette una fissazione meniscale alla capsula posteriore, mettendo in sicurezza il segmento posteriore del menisco e conservando una “riserva meniscale” regolata dall'approfondimento della bratta ossea posteriore che eviti contestualmente l'estrusione meniscale. Mediante questo sistema di fissazione si possono realizzare agevolmente dei punti verticali ma anche dei punti orizzontali che permettono probabilmente una migliore stabilizzazione ed un corretto posizionamento del trapianto.

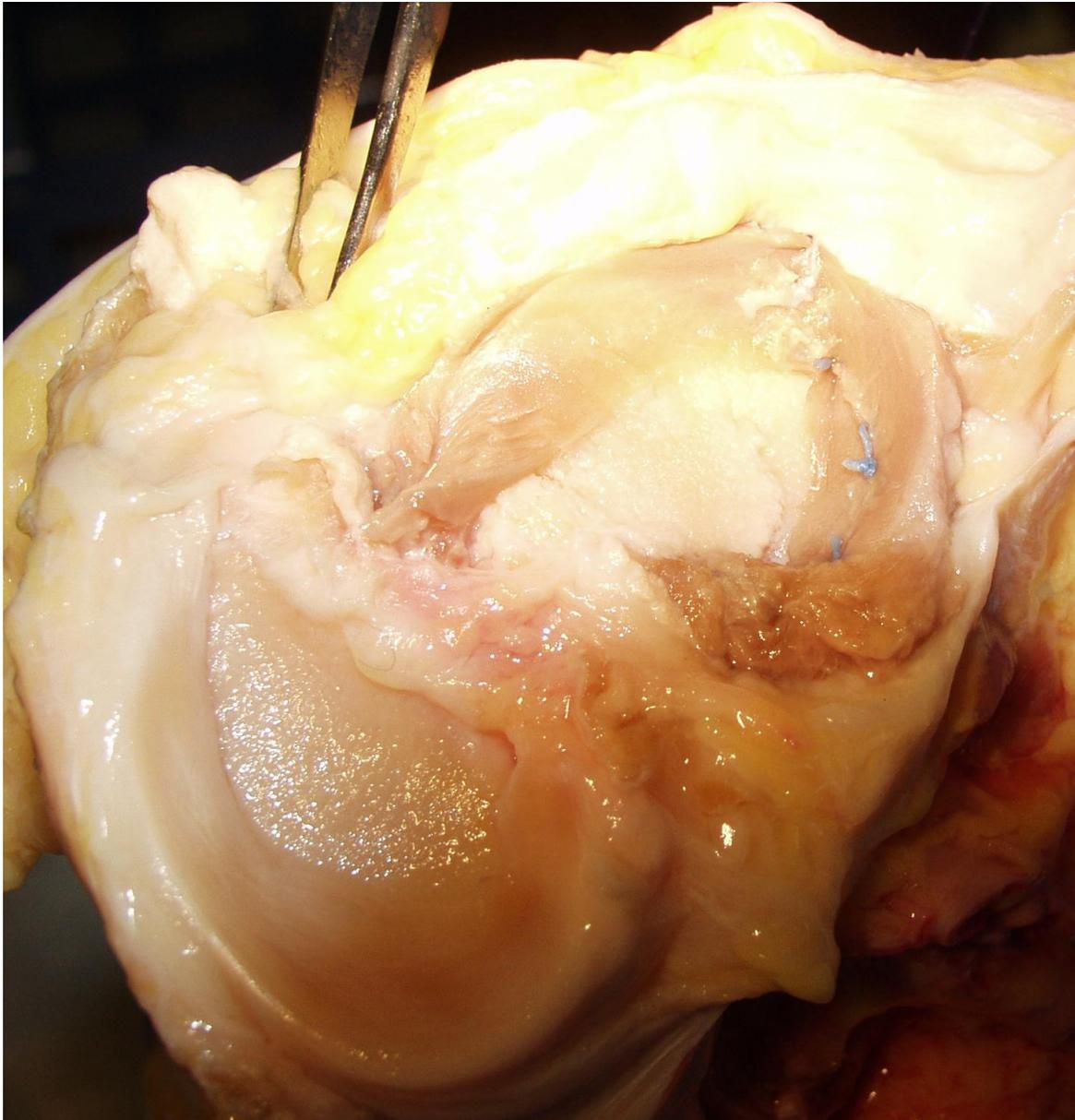


Fig 11 : Sutura del segmento posteriore fino al tendine del popliteo tramite 2 o 3 sistemi di sutura automatici tipo FAST-FIX®.

SUTURA SEGMENTI MEDIO E ANTERIORE

Partendo dal terzo filo di trazione laterale è possibile posizionare 3 o 4 suture supplementari mediante tecnica inside-out sotto controllo artroscopico. Si preferisce il posizionamento di punti di sutura verticali con migliore tenuta, anche se i punti orizzontali sono ugualmente accessibili con la stessa tecnica. I fili sono recuperati attraverso un'incisione cutanea superficiale di 5 mm circa, sono quindi annodati sulla capsula, mantenendo una trazione efficace sul corno anteriore al fine di riportare la capsula sul menisco e quindi di evitare l'estrusione della bratta ossea anteriore. È necessario quindi evitare che sia il menisco a ricongiungersi con la capsula, lasciando libera la bratta ossea anteriore di fuoriuscire dal tunnel producendo la caratteristica estrusione meniscale.

Infine, per la porzione più anteriore del menisco, un punto di sutura outside-in è ritenuto indispensabile per riportare mediante una sutura transmeniscale verticale, la capsula sul segmento meniscale anteriore. Una volta recuperata la sutura attraverso la via d'accesso antero-laterale, quest'ultima viene annodata sulla capsula anteriore.

Tramite l'uncino-palpatore, si testano le suture. Rimane quindi la fissazione delle corna anteriore e posteriore che avviene mantenendo la trazione assiale, annodando ciascun filo di fiber-wire in un bio-button adeso alla corticale tibiale mediale.

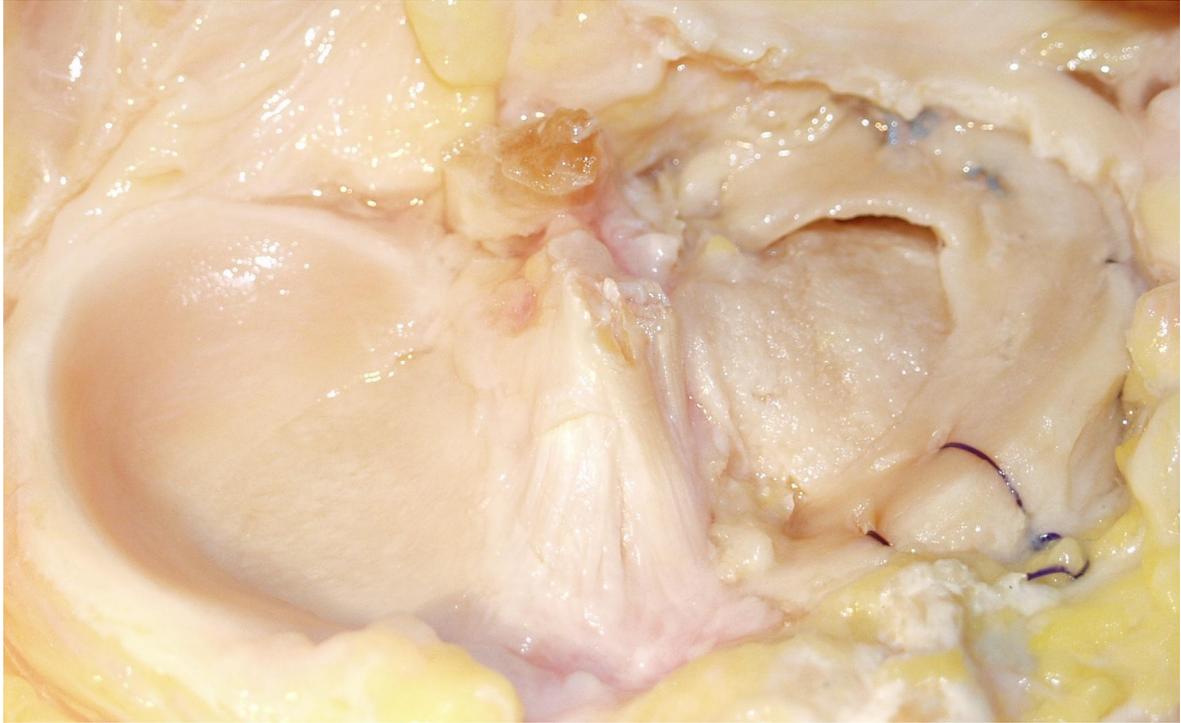


Fig 12 : Sutura dei segmenti medio e anteriore dal terzo filo di trazione laterale con 3 o 4 suture supplementari mediante tecnica inside-out sotto controllo artroscopico ed outside-in nella porzione prossima al corno meniscale anteriore.

C5- DISCUSSIONE

Il menisco, oltre al ruolo lubrificante, propriocettivo e di stabilizzatore articolare, ha un ruolo primordiale nella trasmissione delle forze di carico. A ginocchio posizionato in estensione, circa il 70% delle forze di carico del compartimento esterno sono trasmesse attraverso il corpo meniscale. Il restauro della funzione di ammortizzatore e di ripartitore di forza può avvenire solo a condizione che il trapianto meniscale sia correttamente posizionato e solidamente fissato al livello del muro periferico e delle corna meniscali anteriore e posteriore. Sembrerebbe che una fissazione ossea del trapianto sia preferibile, pur non essendo in misura di riprodurre completamente delle pressioni di contatto normali sulla cartilagine.

La fissazione del trapianto in assenza di bratte ossee ma attraverso dei tunnel tibiali, come proposto da alcuni autori non sembra offrire le stesse garanzie. Non abbiamo avuto nel corso delle nostre sperimentazioni un'esperienza soddisfacente con questo tipo di fissazione nei 2 casi inizialmente condotti in laboratorio di anatomia. Il posizionamento e l'applicazione del trapianto sono più difficili e la fissazione delle corna meno soddisfacente, questo genera un complessivo mal posizionamento macroscopico. Nessuna stabilità primaria è garantita in assenza di bratte ossee, così se un solo filo di sutura dovesse cedere al livello della metafisi tibiale il trapianto si troverebbe improvvisamente "libero", fissato unicamente sulle suture capsulari periferiche. Questo risultato è inaccettabile da un punto di vista biomeccanico e riproduce quello della meniscectomia totale. Inoltre i segmenti anteriore e posteriore hanno tendenza ad assumere una posizione "a corda d'arco" e la fissazione periferica risulta complessa.

L'utilizzo delle bratte ossee permette al trapianto di mantenere una disposizione originale influenzata poco o per nulla dal tensionamento dei fili preparati sulle corna meniscali e questo, a maggior ragione, nel caso di una preparazione con half-tunnel. I tunnel hanno un ulteriore vantaggio nella preservazione del bone-stock epifisario e permettono la realizzazione nello stesso tempo di un'osteotomia tibiale correttiva in caso di malallineamento dell'asse antero-posteriore. L'utilizzo di bratte ossee indipendenti permette una disposizione anatomica del trapianto. Infine, l'interfaccia di cicatrizzazione osso contro osso è riconosciuta tecnicamente di grande vantaggio. Ci si avvicina ai vantaggi annunciati dall'utilizzo della barretta ossea ma la tecnica proposta risulta più semplice e rispetta maggiormente ed in maniera sistematica le strutture nobili articolari adiacenti. In effetti, tutti gli studi anatomici insistono sui rapporti stretti esistenti tra il corno meniscale anteriore con il legamento crociato anteriore, da un lato, ed il corno meniscale posteriore con il legamento crociato posteriore, posteriormente, con il legamento crociato anteriore, anteriormente, dall'altro. La realizzazione di una trincea ossea rettilinea nell'asse antero-posteriore non ci pare possa rispondere a questi imperativi appena enunciati se non decalando lateralmente la trincea stessa. Lo studio di Sekaran (39) mostra in particolare l'effetto deleterio di tal malposizione sulla ripartizione delle forze di carico.

Un altro punto importante, ottimizzato attraverso questa tecnica, è quello della disposizione e dell'orientamento dei tunnel. Il vantaggio dei tunnel ortogonali indipendenti e half-tunnel è determinante. In nessun caso abbiamo registrato un crollo del ponte osseo esistente tra i tunnel anteriore e posteriore dopo aver messo a punto il nostro protocollo sperimentale.

Se gli studi biomeccanici hanno abbondantemente dimostrato che l'ancoraggio osseo delle corna meniscali è di gran lunga più resistente

e soddisfacente della semplice fissazione su parti molli, nessuno studio tuttavia ha dimostrato il comportamento biomeccanico del trapianto con o senza fissazione ossea dopo cicatrizzazione. Inoltre, l'analisi della letteratura riporta dei buoni risultati con fissazione del trapianto alle parti molli circondanti la capsula articolare e ai residui delle corna meniscali native. L'utilizzo delle bratte ossee per la fissazione del trapianto meniscale è ancora oggetto di controversie scientifiche. Da un lato, il posizionamento preciso delle bratte ossee e la loro realizzazione restano dei gesti tecnicamente complessi, dall'altro, una fissazione del trapianto meniscale senza bratta ossea può portare alla riduzione dei benefici attesi dall'intervento chirurgico stesso (40).

Per ottimizzare la fissazione, una preparazione periferica come proposta da Boss et al. (11) ma limitata al solo segmento posteriore potrebbe essere realizzata.

Infine, l'importanza di un trapianto di taglia adeguata come già discusso in precedenza, risulta una parte integrante essenziale alla riuscita tecnica dell'intervento e verosimilmente al successo clinico del trapianto meniscale.

L'analisi della letteratura sembra dimostrare una superiorità tecnica degli interventi condotti sotto controllo artroscopico. Tuttavia, a nostra conoscenza, nessuna tecnica artroscopica "pura" è stata proposta ad oggi.

La nostra tecnica innovativa di trapianto meniscale esterno sviluppato per via interamente artroscopica, con fissazione del trapianto mediante bratte ossee indipendenti al livello delle corna anteriore e posteriore, appare di grande seduzione. Da un lato, la tecnica permette di preservare intatto il muro meniscale periferico, d'altra parte, permette una fissazione ferma, stabile e anatomica delle corna meniscali. Si può quindi contare su una diminuzione dell'estrusione

meniscale laterale, sull'ottimizzazione del posizionamento del trapianto e della sua fissazione, sul potenziamento della funzione meniscale al termine della cicatrizzazione del trapianto.

Al termine del nostro studio sperimentale, abbiamo messo a punto una tecnica originale artroscopica pura di trapianto meniscale esterno che sembra affidabile e riproducibile mediante ancoraggi ossei tramite bratte indipendenti fissate in due half-tunnel ortogonali tra loro e nel rispetto dei requisiti anatomici e tecnici-chirurgici per garantire un risultato funzionale ottimale. Ulteriori studi sono necessari tuttavia per accertare la validità biomeccanica della tecnica proposta prima della sua introduzione nella pratica clinica.

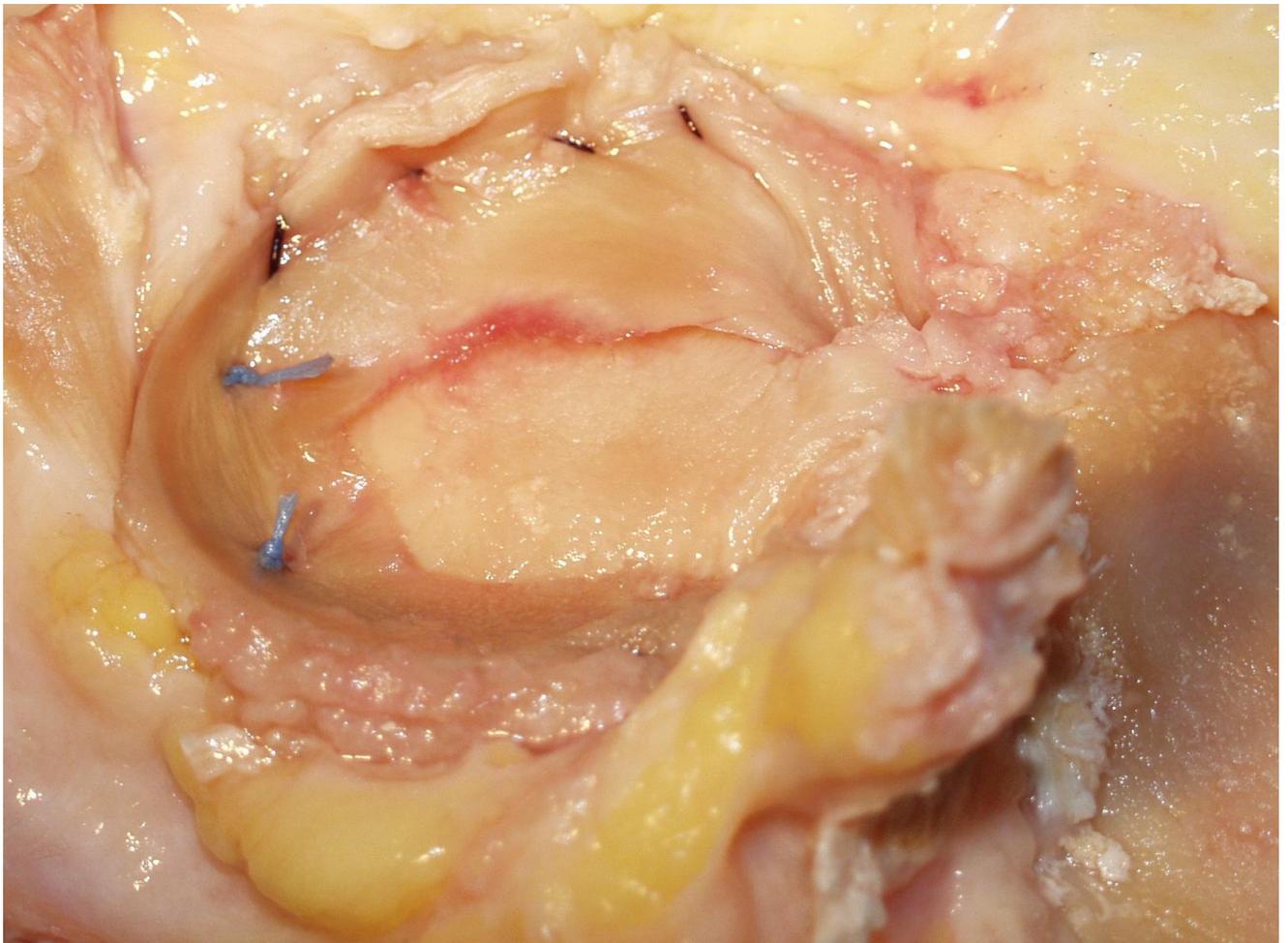


Fig. 13 : Tecnica originale artroscopica pura di trapianto meniscale esterno, affidabile e riproducibile, mediante ancoraggi ossei a bratte indipendenti, fissate in due half-tunnel ortogonali nel rispetto dei requisiti anatomici e tecnici-chirurgici per garantire un risultato funzionale ottimale.

D- BIBLIOGRAFIA

1: Alford JW, Lewis P, Kang RW, Cole BJ.

Rapid progression of chondral disease in the lateral compartment of the knee following meniscectomy.

Arthroscopy. 2005 Dec;21(12):1505-9.

2: Alhalki MM, Hull ML, Howell SM.

Contact mechanics of the medial tibial plateau after implantation of a medial meniscal allograft. A human cadaveric study.

Am J Sports Med. 2000 May-Jun;28(3):370-6.

3: Alhalki MM, Howell SM, Hull ML.

How three methods for fixing a medial meniscal autograft affect tibial contact mechanics.

Am J Sports Med. 1999 May-Jun;27(3):320-8.

4: Amendola A.

Knee osteotomy and meniscal transplantation: indications, technical considerations, and results.

Sports Med Arthrosc. 2007 Mar;15(1):32-8. Review.

5: Arnoczky SP, DiCarlo EF, O'Brien SJ, Warren RF.

Cellular repopulation of deep-frozen meniscal autografts: an experimental study in the dog.

Arthroscopy. 1992;8(4):428-36.

6: Arnoczky SP, Warren RF, McDevitt CA.

Meniscal replacement using a cryopreserved allograft. An experimental study in the dog.

Clin Orthop Relat Res. 1990 Mar;(252):121-8.

7: Arnoczky SP, Warren RF, Kaplan N.

Meniscal remodeling following partial meniscectomy--an experimental study in the dog.

Arthroscopy. 1985;1(4):247-52.

8: Arnoczky SP, Warren RF.

The microvasculature of the meniscus and its response to injury. An experimental study in the dog.

Am J Sports Med. 1983 May-Jun;11(3):131-41.

9: Arnoczky SP, Warren RF.

Microvasculature of the human meniscus.

Am J Sports Med. 1982 Mar-Apr;10(2):90-5.

10: Beaufils P, Hardy P, Chambat P, Clavert P, Djian P, Frank A,

Hulet C, Potel JF, Verdonk R; Société Française d'Arthroscopie.

Adult lateral meniscus.

Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 2006 Sep;92(5 Suppl):2S169-2S194.

11: Boss A, Klimkiewicz J, Fu FH.

Technical innovation: creation of a peripheral vascularized trough to enhance healing in cryopreserved meniscal allograft reconstruction.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000;8(3):159-62.

12: Cameron JC, Saha S.

Meniscal allograft transplantation for unicompartmental arthritis of the knee.

Clin Orthop Relat Res. 1997 Apr;(337):164-71.

13: Charrois O, Ayrat X, Beaufils P.

Rapid chondrolysis after arthroscopic external meniscectomy. A propos of 4 cases.

Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1998 Feb;84(1):88-92.

14: Chen MI, Branch TP, Hutton WC.

Is it important to secure the horns during lateral meniscal transplantation? A cadaveric study.

Arthroscopy. 1996 Apr;12(2):174-81.

15: Farr J, Meneghini RM, Cole BJ.

Allograft interference screw fixation in meniscus transplantation.

Arthroscopy. 2004 Mar;20(3):322-7.

16: Garrett JC, Steensen RN.

Meniscal transplantation in the human knee: a preliminary report.

Arthroscopy. 1991;7(1):57-62.

17: Gelber PE, Gonzalez G, Torres R, Garcia Giralt N, Caceres E, Monllau JC.

Cryopreservation does not alter the ultrastructure of the meniscus.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2009 Jun;17(6):639-44. Epub 2009 Feb 19.

18: Goble EM, Verdonk R, Kohn D.

Arthroscopic and open surgical techniques for meniscus replacement--meniscal allograft transplantation and tendon autograft transplantation.

Scand J Med Sci Sports. 1999 Jun;9(3):168-76.

19: Goble EM, Kohn D, Verdonk R, Kane SM.

Meniscal substitutes--human experience.

Scand J Med Sci Sports. 1999 Jun;9(3):146-57. Review.

20: Heckmann TP, Barber-Westin SD, Noyes FR.

Meniscal repair and transplantation: indications, techniques, rehabilitation, and clinical outcome.

J Orthop Sports Phys Ther. 2006 Oct;36(10):795-814. Review.

21: Johnson DL, Swenson TM, Livesay GA, Aizawa H, Fu FH, Harner CD.

Insertion-site anatomy of the human menisci: gross, arthroscopic, and topographical anatomy as a basis for meniscal transplantation.

Arthroscopy. 1995 Aug;11(4):386-94.

22: Jørgensen U, Sonne-Holm S, Lauridsen F, Rosenklint A.

Long-term follow-up of meniscectomy in athletes. A prospective longitudinal study.

J Bone Joint Surg Br. 1987 Jan;69(1):80-3.

23: Keene GC, Paterson RS, Teague DC.

Advances in arthroscopic surgery.

Clin Orthop Relat Res. 1987 Nov;(224):64-70.

24: Kelly BT, Potter HG, Deng XH, Pearle AD, Turner AS, Warren RF, Rodeo SA.

Meniscal allograft transplantation in the sheep knee: evaluation of chondroprotective effects.

Am J Sports Med. 2006 Sep;34(9):1464-77. Epub 2006 Apr 24.

25: Kim JM, Bin SI.

Meniscal allograft transplantation after total meniscectomy of torn discoid lateral meniscus.

Arthroscopy. 2006 Dec;22(12):1344-1350.e1.

26: Kohn D, Aagaard H, Verdonk R, Dienst M, Seil R.

Postoperative follow-up and rehabilitation after meniscus replacement.

Scand J Med Sci Sports. 1999 Jun;9(3):177-80.

27: Kohn D, Moreno B.

Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement: a morphological cadaveric study.

Arthroscopy. 1995 Feb;11(1):96-103.

28: Lee DH, Kim TH, Lee SH, Kim CW, Kim JM, Bin SI.

Evaluation of meniscus allograft transplantation with serial magnetic resonance imaging during the first postoperative year: focus on graft extrusion.

Arthroscopy. 2008 Oct;24(10):1115-21. Epub 2008 Mar 12.

29: Lubowitz JH, Verdonk PC, Reid JB 3rd, Verdonk R.

Meniscus allograft transplantation: a current concepts review.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007 May;15(5):476-92. Epub 2007 Feb 28. Review.

30: McDermott ID, Lie DT, Edwards A, Bull AM, Amis AA.

The effects of lateral meniscal allograft transplantation techniques on tibio-femoral contact pressures.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008 Jun;16(6):553-60. Epub 2008 Mar 19.

31: McDermott ID, Sharifi F, Bull AM, Gupte CM, Thomas RW, Amis AA.

An anatomical study of meniscal allograft sizing.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2004 Mar;12(2):130-5. Epub 2003 May 20.

32: Messner K, Verdonk R.

It is necessary to anchor the meniscal transplants with bone plugs? A mini-battle.

Scand J Med Sci Sports. 1999 Jun;9(3):186-7.

33: Noyes FR, Barber-Westin SD, Rankin M.

Meniscal transplantation in symptomatic patients less than fifty years old.

J Bone Joint Surg Am. 2005 Sep;87 Suppl 1(Pt 2):149-65. Review.

- 34: Noyes FR, Barber-Westin SD, Rankin M.
Meniscal transplantation in symptomatic patients less than fifty years old.
J Bone Joint Surg Am. 2004 Jul;86-A(7):1392-404.
- 35: Paletta GA Jr, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J.
The effect of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee. A biomechanical study.
Am J Sports Med. 1997 Sep-Oct;25(5):692-8.
- 36: Pollard ME, Kang Q, Berg EE.
Radiographic sizing for meniscal transplantation.
Arthroscopy. 1995 Dec;11(6):684-7.
- 37: Prodromos CC, Joyce BT, Keller BL, Murphy BJ, Shi K.
Magnetic resonance imaging measurement of the contralateral normal meniscus is a more accurate method of determining meniscal allograft size than radiographic measurement of the recipient tibial plateau.
Arthroscopy. 2007 Nov;23(11):1174-1179.e1.
- 38: Rijk PC.
Meniscal allograft transplantation--part I: background, results, graft selection and preservation, and surgical considerations.
Arthroscopy. 2004 Sep;20(7):728-43. Review.
- 39: Sekaran SV, Hull ML, Howell SM.
Nonanatomic location of the posterior horn of a medial meniscal autograft implanted in a cadaveric knee adversely affects the pressure distribution on the tibial plateau.
Am J Sports Med. 2002 Jan-Feb;30(1):74-82.

40: Sekiya JK, West RV, Groff YJ, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD.
Clinical outcomes following isolated lateral meniscal allograft
transplantation.

Arthroscopy. 2006 Jul;22(7):771-80.

41: Shaffer B, Kennedy S, Klimkiewicz J, Yao L.

Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation.

Am J Sports Med. 2000 Jul-Aug;28(4):524-33.

42: Stollsteimer GT, Shelton WR, Dukes A, Bomboy AL.

Meniscal allograft transplantation: a 1- to 5-year follow-up of 22
patients.

Arthroscopy. 2000 May-Jun;16(4):343-7.

43: Stone KR, Walgenbach AW.

Meniscal allografting: the three-tunnel technique.

Arthroscopy. 2003 Apr;19(4):426-30.

44: Urban WP Jr, Nyland J, Caborn DN, Johnson DL.

The radiographic position of medial and lateral meniscal horns as a
basis for meniscal reconstruction.

Arthroscopy. 1999 Mar;15(2):147-54.

45: van Arkel ER, de Boer HH.

Survival analysis of human meniscal transplantations.

J Bone Joint Surg Br. 2002 Mar;84(2):227-31.

- 46: van Arkel ER, Goei R, de Ploeg I, de Boer HH.
Meniscal allografts: evaluation with magnetic resonance imaging and correlation with arthroscopy.
Arthroscopy. 2000 Jul-Aug;16(5):517-21.
- 47: van Arkel ER, de Boer HH.
Human meniscal transplantation. Preliminary results at 2 to 5-year follow-up.
J Bone Joint Surg Br. 1995 Jul;77(4):589-95.
- 48: van der Wal RJ, Thomassen BJ, van Arkel ER.
Long-term Clinical Outcome of Open Meniscal Allograft Transplantation.
Am J Sports Med. 2009 Jun 19. [Epub ahead of print].
- 49: Verdonk P, Depaepe Y, Desmyter S, De Muynck M, Almqvist KF, Verstraete K, Verdonk R.
Normal and transplanted lateral knee menisci: evaluation of extrusion using magnetic resonance imaging and ultrasound.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2004 Sep;12(5):411-9. Epub 2004 May 14.
- 50: Verdonk PC, Verstraete KL, Almqvist KF, De Cuyper K, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R.
Meniscal allograft transplantation: long-term clinical results with radiological and magnetic resonance imaging correlations.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006 Aug;14(8):694-706. Epub 2006 Feb 7.

51: Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R.

Transplantation of viable meniscal allograft. Surgical technique.

J Bone Joint Surg Am. 2006 Mar;88 Suppl 1 Pt 1:109-18. Review.

52: Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R.

Transplantation of viable meniscal allograft. Survivorship analysis and clinical outcome of one hundred cases.

J Bone Joint Surg Am. 2005 Apr;87(4):715-24.

53: Verdonk R, Almqvist KF, Huysse W, Verdonk PC.

Meniscal allografts: indications and outcomes.

Sports Med Arthrosc. 2007 Sep;15(3):121-5. Review.

54: Verdonk R.

Meniscal transplantation.

Acta Orthop Belg. 2002 Apr;68(2):118-27. Review.

55: Verdonk R, Kohn D.

Meniscus transplantation: preoperative planning.

Scand J Med Sci Sports. 1999 Jun;9(3):160-1.

56: Verdonk R.

Alternative treatments for meniscal injuries.

J Bone Joint Surg Br. 1997 Sep;79(5):866-73.

57: Verdonk R, Van Daele P, Claus B, Vandenabeele K, Desmet P, Verbruggen G, Veys EM, Claessens H.

Viable meniscus transplantation.

Orthopade. 1994 Apr;23(2):153-9.

58: von Lewinski G, Kohn D, Wirth CJ, Lazovic D.

The influence of nonanatomical insertion and incongruence of meniscal transplants on the articular cartilage in an ovine model.

Am J Sports Med. 2008 May;36(5):841-50. Epub 2008 Feb 20.

59: von Lewinski G, Milachowski KA, Weismeier K, Kohn D, Wirth CJ.

Twenty-year results of combined meniscal allograft transplantation, anterior cruciate ligament reconstruction and advancement of the medial collateral ligament.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007 Sep;15(9):1072-82. Epub 2007 Jun 19. Review.

60: von Lewinski G, Hurschler C, Allmann C, Wirth CJ.

The influence of pre-tensioning of meniscal transplants on the tibiofemoral contact area.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2006 May;14(5):425-36. Epub 2005 Nov 22.

61: von Lewinski G, Pressel T, Hurschler C, Witte F.

The influence of intraoperative pretensioning on the chondroprotective effect of meniscal transplants.

Am J Sports Med. 2006 Mar;34(3):397-406. Epub 2005 Dec 19.

62: Wang YJ, Yu JK, Luo H, Yu CL, Ao YF, Xie X, Jiang D, Zhang JY.

An anatomical and histological study of human meniscal horn bony insertions and peri-meniscal attachments as a basis for meniscal transplantation.

Chin Med J (Engl). 2009 Mar 5;122(5):536-40.

63: Wirth CJ, von Lewinski G.

Long-term results after combined medial meniscal allograft transplantation and anterior cruciate ligament reconstruction: minimum 8.5-year follow-up study.

Arthroscopy. 2004 Sep;20(7):782-3; author reply 784-5.

64: Yoldas EA, Sekiya JK, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD.

Arthroscopically assisted meniscal allograft transplantation with and without combined anterior cruciate ligament reconstruction.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2003 May;11(3):173-82. Epub 2003 May 9.