

3.4 PATOLOGIA LEGAMENTOSA

La patologia legamentosa del ginocchio è strettamente collegata ai traumi, come accade del resto nella maggior parte delle articolazioni del nostro corpo. I traumi possono indurre delle sollecitazioni nei diversi piani dello spazio andando a interessare le strutture specifiche di contenzione (fig. 205). I traumi possibili nel ginocchio sono stati da Hayes et al. (2000) schematizzati in 10 modelli: 1) iperestensione pura; 2) iperestensione-valgo; 3) iperestensione-varo; 4) valgo puro; 5) varo puro; 6) flessione-valgo extrarotazione; 7) flessione-valgo intrarotazione; 8) flessione con traslazione tibiale posteriore; 9) lussazione rotulea (flessione-valgo intrarotazione femorale su tibia fissa); 10) trauma diretto.

In tabella 5 è stata riportata la struttura legamentosa primariamente e secondariamente sovraccaricata nei traumi lesionali del ginocchio (Hayes et al. 2000).

	primaria	secondaria
Traslazione tibiale anteriore	LCA	LCM, LCL
Traslazione tibiale posteriore	LCP	nessuna
Varo	LCL	LCA, LCP
Valgo	LCM	LCA, LCP
Rotazione tibiale interna	LCL	LCA, capsula
Rotazione tibiale laterale	LCM	LCP, capsula
Iperestensione	LCP	LCA, capsula

Tab. 5 • Strutture legamentose di contenzione del ginocchio soggette a lesione nei diversi movimenti che si possono realizzare nei traumi distorsivi (da Hayes et al. 2000).

Per i ricercatori la patologia legamentosa, soprattutto a carico del legamento crociato anteriore (LCA), negli ultimi 30 anni ha visto fiorire un notevole interesse. Dimostrazione ne è l’immensa bibliografia a riguardo.

Per trattare in modo esaustivo l’argomento sarebbe necessario dedicare un testo intero, come abbiamo fatto alcuni anni or sono (Colonna 1997), ma non è questo l’obiettivo di questo volume. Cercheremo, invece, di dare una base informativa sulla dinamica con cui avvengono i traumi lesionali del LCA e del LCM, e come è possibile, utilizzando le recentissime acquisizioni in materia, prevenire il trauma distorsivo e conseguentemente la lesione.

Fare prevenzione dei traumi distorsivi porterà a ridurre anche le lesioni dei legamenti collaterali e dei menischi. Non tratteremo le lesioni del LCP perché riteniamo che siano specifiche di traumi determinati da cause esterne, quindi casuali, di conseguenza, in questi casi, non soggetti a prevenzione.

3.4.1 LEGAMENTO COLLATERALE MEDIALE (LCM)

Il LCM è uno dei legamenti del ginocchio maggiormente interessati dalle lesioni traumatiche (Fetto e Marshall 1978; Peterson et al. 2000). La popolarità di sport, che richiedono carichi in valgo del ginocchio, quali hockey su ghiaccio, sci, calcio, ha contribuito alla notevole frequenza delle lesioni del LCM (Lorentzon et al. 1988; Warme et al. 1995).

La maggior parte dei pazienti che subiscono la lesione del LCM possono riprendere lo stesso livello di attività sportiva precedente al trauma con la terapia conservativa (Indelicato et al. 1990; Pforringer et al. 1993; Petermann et al. 1993; Reider et al. 1994). Solo i casi più gravi, specialmente quelli che coinvolgono più legamenti, possono richiedere un trattamento chirurgico in fase acuta.



Fig. 205a • Suddivisione delle strutture capsulo-legamentose del ginocchio suddivise in base alla collocazione spaziale.

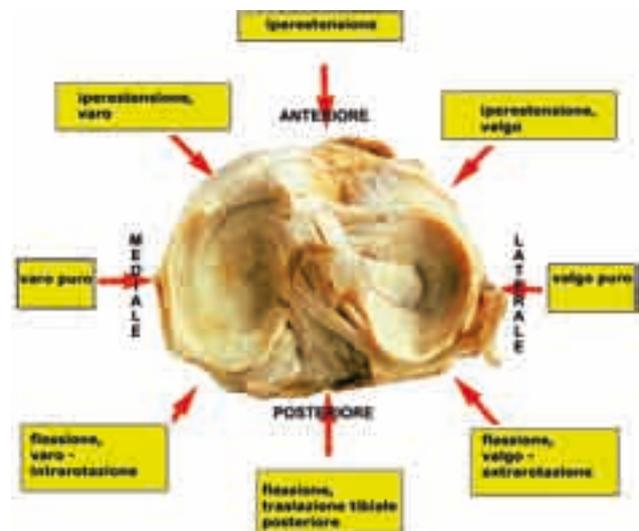


Fig. 205b • Suddivisione dei movimenti patologici del ginocchio in base alla direzione delle forze esterne causali.

La ricostruzione chirurgica è indicata, inoltre, nei casi di lassità cronica isolata e sintomatica del LCM.

L'anatomia della parte mediale del ginocchio è complessa. Come già esposto nella descrizione anatomica è composta da tre strati ed entrano a fare parte componenti multipli che connettono la capsula articolare, le unità muscolo-tendinee e il menisco mediale. Nell'insieme queste strutture connettivi costituiscono una manico fibroso che si espande dalla porzione mediale del meccanismo estensore del ginocchio alla porzione posteriore, adiacente al LCP.

Negli studi di dissezione sui cadaveri è stato evidenziato che il LCM limita il movimento in valgo ed extrarotazione forzati del ginocchio.

Gli stabilizzatori dinamici della parte mediale del ginocchio sono il complesso del semimembranoso, il quadricipite e la zampa d'oca.

Il semimembranoso ha un ruolo importante nella stabilità in dinamica della porzione mediale del ginocchio. La sua azione si evidenzia mediante un'azione diretta sull'apertura della rima mediale, mettendo in tensione il legamento posteriore obliquo e trazionando posteriormente il corno posteriore del menisco mediale per prevenire un conflitto durante la flessione (Sims e Jacobson 2004). Il quadricipite e i muscoli della zampa d'oca hanno dimostrato un incremento potenziale della rigidità (stiffness) del complesso legamentoso mediale del ginocchio rispettivamente del 164% e del 108%. Comunque ricordiamo che è stato provato che il tempo di reazione di questi muscoli è troppo lungo per proteggere efficacemente il legamento nei traumi distorsivi da sport (Pope et al. 1979).

Nei reperti anatomici studiati, il LCM superficiale provvede al 57% della resistenza del momento di forza in valgo a 5° di flessione del ginocchio; tale valore si innalza al 78% con la flessione a 25°, per la riduzione del contributo apportato dalla capsula posteriore (Grood et al. 1981).

È stato dimostrato che la resistenza finale del LCM ai carichi di rottura è approssimativamente uguale a quella del LCA (Kennedy et al. 1976).

Quando sono state testate le singole componenti del LCM, il massimo carico raggiunto è stato di 534N per la componente superficiale, 194N per la componente profonda e 425N per il legamento posteriore obliquo. Il cedimento delle tre strutture, avviene rispettivamente ad una elongazione media di 10.2 mm, 7.1 mm e 12 mm (Robinson et al. 2005).

La localizzazione della massima tensione del complesso del LCM, nei cadaveri studiati, è stata riscontrata a livello dell'inserzione femorale quando l'articolazione è vicina all'estensione. Questo è in linea con l'evidenza clinica della più frequente localizzazione delle lesioni del LCM a livello dell'inserzione femorale (Ellsasser et

al. 1974; Gardiner et al. 2001; Gardiner e Weiss 2003). Per O'Donoghue (1991) e Sims (2004) l'inserzione femorale è la localizzazione più frequente delle lesioni dello strato profondo del LCM, mentre l'inserzione tibiale lo diventa per lo strato più superficiale.

Il LCM, a differenza del LCA, ha dimostrato eccellenti capacità di cicatrizzazione (Anderson et al. 1992; Indelicato 1995; Woo et al. 2000), anche se le proprietà biomeccaniche e biochimiche del legamento guarito non riprendono completamente, lasciando, pur se limitati, dei deficit di tenuta (Anderson et al. 1992).

È stato dimostrato che l'immobilizzazione, dopo una lesione, ha degli effetti deleteri sulla cicatrizzazione del LCM lesionato, determinando: disorganizzazione delle fibre collagene; riduzione delle proprietà meccanica del complesso osso-legamento; riassorbimento dell'osso a livello dell'inserzione legamentosa (Woo et al. 1990). È stato dimostrato, inoltre, che il movimento controllato ha un effetto positivo sulla cicatrizzazione del LCM (Tipton et al. 1970; Woo et al. 1990; Reider et al. 1994). Per tale motivo un precoce movimento eseguito con attenzione è stato inserito nei programmi di trattamento conservativo del LCM (Indelicato et al. 1990; Reider et al. 1994).

Il valgo stress è il principale meccanismo lesionale, anche se, per la posizione del ginocchio e i vettori di forza, il risultato finale del trauma è una combinazione di flessione-valgo-extrarotazione (Hayes et al. 2000).

Il trauma lesionale più frequente del LCM è dovuto ad una forza esterna che si scarica sulla parte laterale del ginocchio, anche se distorsioni in valgo-extrarotazione senza contatto sono frequenti in diversi sport (Pressman et al. 2004).

3.4.1.1 VALUTAZIONE CLINICA

Per effettuare la diagnosi di lesione del LCM i dati importanti sono, oltre al meccanismo lesionale, la localizzazione del dolore, la capacità di deambulare dopo il trauma, l'inizio del versamento, la presenza di deformità e dolorabilità immediate alla palpazione (Indelicato e Linton 2003).

Un versamento acuto che s'instaura nell'arco di un paio di ore è indice di un emartro (fig. 206), mentre il versamento che si manifesta dopo 12-24 ore dal trauma normalmente indica un versamento sinoviale.



Fig. 206 • Emartro del ginocchio dopo trauma distorsivo.

Il 76% dei pazienti con una lesione completa del LCM riescono a deambulare senza supporto e il dolore sembra essere maggiore nelle lesioni incomplete rispetto a quelle complete (Hughston 1976). Il dolore si percepisce, quando il LCM è in tensione, cioè nei gradi estremi di estensione e di flessione articolare.

Nella casistica riportata da Hughston, la posizione dell'edema e il dolore alla digitopressione localizzano in modo accurato la lesione dello strato superficiale del LCM rispettivamente nel 64% e nel 76% dei casi.

L'esatta localizzazione della lesione dello strato profondo del LCM e del POL è più difficile alla palpazione, anche se un dolore alla digitopressione è sempre indicativo di un interessamento di queste strutture, compreso il tendine del semimembranoso (Sims et al. 2004).

Il miglior momento per valutare la lesione è quello immediatamente successivo al trauma, quando non è ancora presente lo spasmo muscolare. Questa opportunità, purtroppo, è limitata solo ai team medici che seguono sul campo gli atleti durante le partite e gli allenamenti.

Nei pazienti con un accentuato spasmo muscolare di difesa sono sufficienti 24 ore di immobilizzazione per permettere una accettabile valutazione, senza dover ricorrere all'anestesia (Hughston et al. 1976).

Con il paziente completamente rilassato, il test di stress in valgo deve essere eseguito, comparativamente con l'arto controlaterale (considerato sano), con il ginocchio prima flesso a 30° (fig. 207a) e dopo in completa estensione (fig. 207b) per reclutare funzionalmente le

rimanenti strutture posteromediali. Qualsiasi lassità presente a questo test con il ginocchio in estensione deve indurre il sospetto della lesione delle strutture di contenimento secondarie, quali i crociati o la capsula posteriore (Grood et al. 1981). La lesione del LCA è la lesione legamentosa più frequentemente associata alla lesione del LCM (Fetto e Marshall 1978).

Il grado di ampiezza dell'apertura della rima articolare mediale in millimetri e la sensazione dell'arresto finale del movimento, contribuiscono alla valutazione della severità della instabilità.

La valutazione del cassetto anteriore con il piede in extrarotazione sembra essere indicativo di una lesione del LCA associata a quella del LCM (Kurimura et al. 2004). Anche la presenza di emartro spesso è indicativa di una lesione del LCA associata.

Hughston et al. (1976; 1994) hanno standardizzato la classificazione delle lesioni del LCM in due sistemi correlati: il sistema di gravità (grado I, II, III) e il sistema di lassità (grado 1+, 2+, 3+). In questo sistema di classificazione combinato, il I grado, comporta la lesione di alcune fibre con conseguente dolore localizzato, ma non è presente una instabilità. Grado II, è presente una rottura di più fibre, con un dolore più diffuso ma nessuna instabilità. Il grado III è una rottura completa del legamento con conseguente instabilità. La lesione di grado III è suddivisa a seconda del grado di lassità, determinato dalla quantità di apertura della rima mediale durante il test di valgo stress, con il ginocchio a 30 gradi di flessione, in tre livelli: 1+ apertura della rima di circa 3-5 mm; 2+ apertura di circa 6-10 mm; 3+ oltre i 10 mm.



Fig. 207 • Esecuzione del test in valgo stress per la valutazione delle strutture mediali del ginocchio: a) con ginocchio flesso di 30°; b) con ginocchio esteso.

La localizzazione della lesione e la presenza o assenza di un arresto finale e altre modifiche sono state aggiunte nella classificazione AMA (Cox 1979). Nella classificazione di Fetto e Marshall (1978) il primo grado rappresenta quelle lesioni senza lassità nel valgo stress, con il ginocchio flesso sia a 0° che a 30°; il secondo grado rappresenta quelle lesioni con lassità presente solo a 30° di flessione; il terzo grado la lassità è presente ad entrambi gli angoli valutati.

Nelle lesioni di terzo grado, di questa classificazione, sono presenti spesso lesioni associate del LCA.

3.4.1.2 VALUTAZIONE STRUMENTALE

L'opportunità di radiografie al ginocchio dopo l'infortunio si determina in base alle regole riportate dal documento Ottawa (Stiell et al. 1995). Se è presente una indicazione sono consigliate delle proiezioni antero-posteriore, laterale e la Merchant view. Le radiografie sotto stress sono utili negli adolescenti per escludere la possibilità di lesione del piatto epifisario (Zionts 2002).

Numerosi sforzi sono stati fatti per valutare la lassità usando le radiografie con attrezzature per lo stress, ma questa tecnica non è riuscita a diventare una pratica comune, probabilmente a causa delle dimensioni e della complessità di queste apparecchiature (Jacobsen et al. 1976).

Il ruolo della RMN nella valutazione (fig. 208) e nella valutazione del programma di trattamento delle lesioni legamentose mediali è attualmente largamente diffuso.

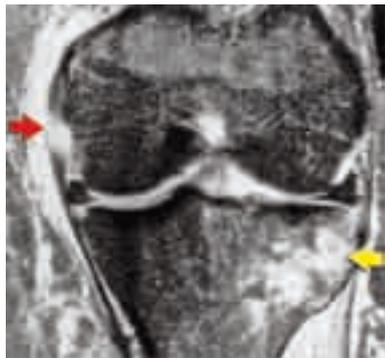


Fig. 208 • Taglio coronale RMN T2 pesate dove si evidenzia la lesione del LCM all'inserzione femorale (freccia rossa) e l'edema sottocorticale da impatto del piatto tibiale laterale (freccia gialla) (da Hayes et al. 2000 modificato).

Hayes et al. (2000) hanno classificato le lesioni complesse del ginocchio in dieci tipi basati sul meccanismo traumatico.

Il riconoscimento di questi modelli può aiutare a valutare la portata delle lesioni del ginocchio, in particolare quelle che coinvolgono gli angoli posterolaterale e posteromediale del ginocchio. Uno studio ha dimostrato che la localizzazione della lesione nello strato superficiale su MRI potrebbe aiutare a prevedere l'esito dopo il trattamento conser-

vativo, di lesioni di grado III del MCL combinato con la lesione del LCA (Nakamura et al. 2003).

3.4.1.3 TRATTAMENTO TERAPEUTICO

La maggior parte delle lesioni del LCM presentano una indicazione al trattamento conservativo, eccetto quelle che manifestano una lassità in valgo con il ginocchio in estensione.

Il trattamento conservativo prevede un carico precoce con le stampelle e con una ginocchiera articolata; inoltre, è consigliato iniziare precocemente con esercizi in isometrica. Le stampelle vengono abbandonate quando il paziente riesce a deambulare senza zoppicare. I FANS sembrano apportare un beneficio alla guarigione dei tessuti molli, ma i risultati sembrano essere di scarso valore (Dalmers et al. 2004).

Nella nostra pratica clinica consigliamo, per ridurre il dolore e l'edema, l'utilizzo dei FANS insieme al miorelassante e vasodilatatore somministrati con mesoterapia.

Nella maggior parte dei casi dopo circa una settimana, escluse le gravi lesioni caratterizzate da forte dolore, che posticipano di un'ulteriore settimana, proponiamo dei trattamenti manuali con lo scopo di indurre la rotazione mediale della tibia, mentre il paziente esegue, all'interno del ROM concesso dal dolore, la flessione-estensione attiva (fig. 209a); è consigliato l'uso di tecniche manuali energetiche (MET) che allunghino gli extrarotatori di tibia (fig. 210b, c) e tecniche strutturali che inducano l'intrarotazione tibiale. Proponiamo, inoltre, il rinforzo attivo degli intrarotatori di tibia contro resistenza manuale offerta dall'operatore (fig. 211).

Il bendaggio funzionale con nastro anelastico (fig. 212) è utilizzato nei casi gravi (II e III grado) nel primo periodo, insieme all'uso del tutore e durante la ripresa dell'attività sportiva senza tutore. Spesso in fase avanzata, anche se stabilizzata l'articolazione (valgo test negativo), permane edema e dolore; in questo caso preferiamo usare il bendaggio elastico tipo Kinesiotaping.

Per ripristinare e migliorare l'attività muscolare degli intrarotatori, che supportano il LCM, utilizziamo degli elastici (fig. 213) o il dinamometro isocinetico (fig. 214).

Benché la maggior parte delle lesioni del LCM possano essere gestite, ottenendo un buon risultato, con un trattamento conservativo. L'ipotesi chirurgica deve essere vagliata in specifiche situazioni, quali: la rottura completa del legamento (parte superficiale e parte profonda); intrappolamento intrarticolare della porzione terminale; distacchi notevoli di componente ossea; frattura del piatto tibiale oppure in presenza di una instabilità rotatoria nella direzione antero-mediale durante la valutazione clinica (Nakamura et al. 2003; Wilson et al. 2004).



Fig. 209a • Manipolazione funzionale per la lesione del LCM: mentre il paziente esegue una flessione-estensione per il ROM concesso dal dolore, il terapeuta induce una intrarotazione tibiale mentre si oppone all'estensione.



Fig. 209bc • Allungamento della componente extrarotatoria della BIT con tecniche di contrazione rilassamento (MET): b) con ginocchio esteso; c) con ginocchio flesso.



Fig. 210 • Tecnica osteopatica per la disfunzione della tibia in extrarotazione: con il paziente in posizione supina e ginocchio e anca flessa (a), il terapeuta interponendo le dita (indice e medio) dietro il piatto tibiale esterno (b) induce una flessione massimale del ginocchio (c).

Fig. 211 • Rinforzo dei muscoli intrarotatori utilizzando la resistenza manuale offerta dall'operatore.



Fig. 212 • Bendaggio funzionale con nastro anelastico per una lesione del LCM (da Colonna e Cipolla 1999).

Fig. 213 • Potenziamento degli intrarotatori di tibia con resistenza elastica.



3.4.2 LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE LCA

Una lesione legamentosa è sempre dovuta al superamento di una posizione di stabilità per un'eccessiva e incontrollata energia cinetica che può essere:

- di origine endogena: la potenza del movimento è tale da superare le capacità di controllo dell'apparato legamentoso e muscolare del ginocchio;
- di origine esogena: trauma diretto sul ginocchio che contemporaneamente ostacola il sincronismo della flesso-rotazione.

Il LCA, per la sua particolare disposizione nell'incisura intercondiloidea, per la sua struttura e per il suo ruolo fisiologico è sottoposto repentinamente a tensioni capaci di romperlo, mentre il LCP è più protetto in virtù di una resistenza intrinseca maggiore.

L'analisi accurata dei fattori vulneranti, il tipo di trauma (trauma diretto o movimento forzato), la sua direzione, la sede di applicazione dell'impatto e la posizione del ginocchio in quel preciso momento, danno luogo alla costituzione di svariati meccanismi lesionali.

Tra questi i più frequenti sono:

- valgo-extrarotazione
- varo-intrarotazione
- iperestensione.

Quando il ginocchio è flesso, può sfuggire all'agente lesivo assorbendo l'eccesso di energia cinetica modificando l'angolo di flessione o della rotazione o limitando i due movimenti. Se ciò non accade, l'articolazione va incontro alla distorsione.

Il meccanismo della lesione raramente si presenta su un solo piano dello spazio: sagittale o trasverso. Nella maggior parte dei casi, il meccanismo è combinato,

associando flessione e rotazione ad una forte sollecitazione frontale. In questi casi la lesione del LCA si integra in un quadro lesionale pluri legamentoso.



Fig. 214 • Potenziamento degli intrarotatori di tibia con dinamometro isocinetico.

Il trauma in **valgo-extrarotazione** (fig. 215a) è senz'altro il meccanismo più frequente all'origine di gravi distorsioni del ginocchio con lesioni legamentose, soprattutto quelle presenti nello sci (Bousquet et al. 1992). La gravità delle lesioni e la loro successione cronologica variano a seconda della forza traumatizzante, del suo punto di applicazione sulla faccia esterna del ginocchio, del grado di flessione e del grado di componente di valgo e/o di extrarotazione.

Se il valgo è il movimento predominante, generalmente la lesione del LCA è successiva a quella del punto d'angolo postero-interno ed alla rottura del fascio profondo e del fascio superficiale del collaterale mediale. Se l'energia cinetica del trauma non ha esaurito il suo effetto, infine si romperà anche il LCP.

Se, invece, la rotazione esterna è predominante, la lesione si estende al compartimento esterno e in particolare al popliteo ed alle sue inserzioni peroneali. Il LCP resta intatto e serve da perno alla rotazione (Bousquet et al. 1992).

Nel trauma del ginocchio in **varo-intrarotazione** (fig. 215b) l'impatto del trauma avviene sulla faccia interna del ginocchio. Questo meccanismo è sempre più frequente durante partite di calcio, di basket e di pallavolo. In questa posizione, gli elementi predisponenti sono multipli ed associati: decelerazione brusca (per effetto della brusca contrazione quadricipitale), cambiamento di direzione della corsa sul piede interno, trauma sulla faccia interna del ginocchio. Le

lesioni iniziano nel punto d'angolo-postero-esterno (popliteo) con perdita del controllo del varo e della rotazione interna. In questo modo si produce un eccesso di avvitemento dei crociati che in presenza di estensione articolare è causa di una rottura completa del LCA (Markolf et al. 1995; Senter e Hame 2006). Se l'agente traumatico prosegue la sua azione, possono sopraggiungersi la rottura del bicipite, del LCP ed a volte anche la lesione dello SPE (Bousquet et al. 1992).

Durante un trauma di questo genere, si ha una progressiva distensione della fascia lata con rottura delle fibre di Kaplan o distacco dal tubercolo di Gerdy (Bousquet et al. 1992).

In estensione, il ginocchio non ha alcuna possibilità di sfuggire ai traumi perché è bloccato ed i legamenti sono molto vulnerabili.

L'**iperestensione** (fig. 215c) brusca e violenta può provocare una rottura del LCA. Gli esempi più classici sono il calcio a vuoto dei calciatori ed un'errato atterraggio dopo un salto nei giocatori di pallavolo e basket. Il trauma diretto sulla faccia anteriore del ginocchio in estensione, appare meno frequente.

Durante l'iperestensione, il LCA si rompe essendo troppo teso sul "cavalletto" rappresentato dall'incisura intercondiloidea (Jagodzinski et al. 2000). In casi di questo genere, ha un ruolo predisponente il morfotipo del ginocchio in recurvato che aumenta il rischio di rottura del LCA.

È invalsa l'opinione che questo meccanismo lesionale possa provocare una lesione isolata del LCA. Per Bousquet et al. (1992), quest'asserzione deve essere rivisitata; infatti, il frequente riscontro, all'esame obiettivo, di un cassetto anteriore in estensione è la prova di una lesione associata del LCA e delle formazioni capsulari angolari.

Con ginocchio flesso oltre i 90° e sotto carico, la

contrazione brusca del quadricipite può spingere il femore indietro con conseguente sublussazione anteriore relativa della tibia e lacerazione del LCA. Questo meccanismo, che sembra essere frequente nello sci, spiega quella che viene definita rottura spontanea del LCA, che può essere totale o parziale.

L'iperestensione-intrarotazione non è raro, come meccanismo lesionale del LCA nella pratica sportiva, quale ad esempio il rugby. Il piede è bloccato al suolo, mentre la caduta in avanti del corpo provoca un'iperestensione e rotazione interna del ginocchio. Tale posizione associa entrambi i meccanismi che rendono vulnerabile il LCA: iperestensione e avvitemento.

Nel bambino l'iperestensione può ledere LCA; a volte il legamento resta intatto ma si ha un distacco osseo della zona dell'inserzione prespinale.

L'eccessiva rotazione interna, mediante l'avvolgimento dei crociati, è capace di indurre una lesione del LCA che si tende sul "cavalletto" costituito dal LCP. Questo meccanismo lesionale, che può essere associato a lesioni periferiche esterne, può avvenire per uno scatto o per un cattivo atterraggio dopo un salto. L'eccessiva rotazione esterna isolata, solitamente non è in grado di rompere il LCA. Di frequente riscontro nello sci, è causa di lesioni angolari mediali e laterali che possono facilmente nascondere una lesione del LCA.

I traumi sagittali puri, sono eccezionali; sono quelli applicati alla faccia posteriore della tibia e sono causa di una lesione isolata del LCA.

Per valutare come il LCA è stressato dalle forze esterne, è stata valutata la tensione determinata da una trazione anteriore sul piano sagittale di 100 Nm, partendo da una flessione di 90° e arrivando a 5° di iperestensione. Dopo questa prova isolata sul piano



Fig. 215 • Asse dell'arto inferiore e del ginocchio durante i traumi: a) in valgo extrarotazione; b) varo intrarotazione; c) iper estensione.

sagittale, è stata sommata una forza di 10Nm in varo e valgo, in intra ed extrarotazione. La trazione diretta anteriore è la forza che determina il massimo carico sul legamento; quando il ginocchio è flesso a 30° è presente una forza uguale a quella applicata sul LCA; con il ginocchio in completa estensione la tensione sul LCA è del 150% di quella applicata. Quando il ginocchio è in estensione, inserendo una forza di 10Nm in intrarotazione, oltre a quella sagittale anteriore, la risultante sul LCA incrementa drasticamente; invece, diminuisce drasticamente quando viene sommata una extrarotazione. Aggiungendo una forza in varo, aumenta la tensione sul LCA solo quando il ginocchio è in estensione; aggiungendo una forza in valgo incrementa la tensione solo quando il ginocchio è in flessione.

La conclusione a cui arrivano gli Autori è: la rotazione interna di tibia, durante i traumi del ginocchio, è un importante meccanismo di sovraccarico lesionale per le LCA; l'extrarotazione, invece, è meno importante biomeccanicamente anche se più frequente (Markolf et al. 1995). Alla stessa conclusione arriva un altro lavoro più recente (Hame et al. 2002) in cui, studiando la biomeccanica della lesione del LCA durante lo sci, riporta una maggiore possibilità di lesione quando alla massima estensione o flessione si somma una forza in intrarotazione più che in extrarotazione.

Per quanto riguarda la sede della lesione, l'insieme osso-LCA si comporta come un sistema visco-elastico in cui distensione e rottura dipendono dalla velocità di allungamento a cui il sistema è sottoposto.

La rottura del LCA può avvenire a tre livelli:

- l'inserzione tibiale è frequente nei soggetti giovani e comporta un distacco osseo per avulsione. Ciò in osservanza alla legge di Hulten: nel giovane, il legamento è più resistente dell'osso (Bousquet et al. 1992). Questa lesione è rara nell'adulto e può sopraggiungere per un trauma in iperflessione;
- l'inserzione femorale con avulsione periosteale che si presenta raramente;
- le rotture intralegamentose sono le più frequenti. Il legamento si lacera coinvolgendo le sue fibre, con necrosi secondarie dei monconi a causa dell'interruzione del sistema vascolare. Il segmento prossimale del LCA, vicino all'inserzione femorale, è più frequentemente soggetto a cedimenti intraparenchimali.

Quando è presente una rottura intraparenchimale del LCA, essa è intrasinoviale e può dar luogo ad errori diagnostici: il LCA, accollandosi al LCP, vi si reinserisce "in nutrice". In questo modo, la buona vascolarizzazione dà al crociato un aspetto esteriore quasi normale, ma le sue caratteristiche funzionali sono ridotte.

In qualche caso, infine, la lesione del LCA può essere limitata ad un solo fascio, mentre la rottura totale è rimandata ad un trauma successivo. In questo tipo di lesioni, dette in due tempi, sono riscontrabili ematridi a ripetizione.

Le lesioni del LCA degenerano velocemente: dopo 15 giorni, il legamento viene invaso da un processo di fibrosi; dopo 20 giorni, il legamento si retrae e viene sostituito da un moncone che assume l'aspetto a "battocchio di campana" (vedi fig. 26 pag. 10); dopo 45 giorni, inizia un processo di sclerosi e dopo tre mesi il legamento può essere completamente scomparso. La velocità di riassorbimento è proporzionale allo stato della rete vascolare della tenda sinoviale. Se essa è intatta, come nelle rotture intrasinoviali, il crociato resta disinserito ma vitale e, pur non essendo suturabile, potrebbe servire come materiale di sostegno ad una plastica chirurgica.

La lesione del LCA è evolutiva perché il ginocchio perde il suo centro articolare. Ciò provoca la comparsa di movimenti anomali legati, da un lato allo spostamento in avanti dei centri di flesso-estensione e dall'altro allo spostamento indietro dei centri di rotazione (Bousquet et al. 1992).

3.4.2.1 EPIDEMIOLOGIA

Negli Stati Uniti è stato calcolato che per ogni anno da 80.000 (Griffin et al. 2000) a 100.000 (Miyasaka et al. 1991) soggetti si rompono il LCA.

Uno studio (Hewett et al. 1999) effettuato sulle partecipanti ai college americani riporta che circa 10.000 atlete per anno vanno incontro ad un trauma del ginocchio e di queste più di 2.200 presenta la lesione del LCA.

I 4/5 dei traumi che comportano tali lesioni non sono da contatto e la maggior parte avvengono durante la fase di atterraggio successivo ad un salto (Noyes et al. 1983).

Gli sport più a rischio di lesione del LCA sono lo sci, il football americano, la pallavolo e il basket. In tabella 6 sono riportati i dati riguardanti l'incidenza di lesioni del LCA nei soggetti non sportivi e in quelli praticanti attività sportiva.

Nello sciatore, dal 1970 le fratture tibiali e le distorsioni di caviglia si sono ridotte del 90%; mentre le distorsioni di ginocchio con interessamento dei legamenti sono triplicate (Johnson et al. 1993; Johnson 1995). Le distorsioni gravi del ginocchio sono passate dal 3% del 1972 al 29% del 1994 (Warne et al. 1995).

Le caratteristiche del meccanismo traumatico dello sci riscontrate, analizzando un campione di 51 soggetti con lesione del LCA, sono state: il 47% (24 casi) in valgo extrarotazione (fig. 216), il 41% (21 casi) in flessione-intrarotazione (fig. 217), in 2 casi in iperestensione-intrarotazione e in 4 non era chiaro il mec-

Attività	anno	Frequenza
<i>Popolazione comune</i> Miyasaka et al. (1991) Nielsen e Yde (1991)	1991 1991	40 per 100.000 persone per anno 30 per 100.000 persone per anno
<i>Football Americano</i> Hewson et al. (1986)	1986	60 per 100.000 giocatori per giorno
<i>Sci</i> Feagin et al. (1987) Johnson et al. (1993) Warme et al. (1994)	1987 1991 1993	70 per 100.000 sciatori per giorno 50 per 100.000 sciatori per giorno 85 per 100.000 sciatori per giorno
<i>Calcio</i> Arendt et al. (1995)	1995	13 per 100.000 atleti esposti 31 per 100.000 atlete esposte
<i>Calcetto (indoor soccer)</i> Lindenfeld et al. (1994)	1994	0,87 per 100 ore di gioco (femmine) 0,29 per 100 ore di gioco (maschi)
<i>Pallacanestro</i> Arendt et al. (1995)	1995	7 per 100.000 atleti esposti 29 per 100.000 atlete esposte

Tab. 6 • Incidenza delle lesioni del LCA in differenti popolazioni di sportivi riportate in letteratura.

canismo traumatico (Ettlinger et al. 1995). I traumi da sci rispetto ai traumi degli sport di contatto producono, associata alla lesione del LCA, una maggiore lesione del LCM e minore rottura delle strutture meniscali (Järvinen et al. 1994). A quest'ultima conclusione arrivano anche altri lavori (Barber 1994; Paletta et al. 1992) che hanno analizzato il tipo di lesione in base al meccanismo traumatico dello sport specifico.

Nello snowboard la percentuale di distorsioni al ginocchio si riducono intorno al 14-19% (Abu-Laban 1991; Ganong et al. 1992; Warme et al. 1995).

La pallavolo è inserita tra gli sport più a rischio di trauma distorsivo a livello del ginocchio. Nel decennio 1979-1989 Ferretti et al. (1995) riportano su 1041 casi di lesione del LCA trattati, 52 pallavolisti; di

questi 52 in 32 casi il trauma si è verificato in partita, i restanti 20 in allenamento. La fase di gioco più a rischio è la schiacciata (38 casi) seguito dal muro (10 casi) e dalla difesa (4 casi).

La maggior parte dei lavori pubblicati in letteratura concordano sul fatto che le donne sono più a rischio, alcuni riportano fino a 6 (Lindenfeld et al. 1994) o 10 volte (Whiteside 1980), rispetto ai maschi, di lesioni legamentose a carico del ginocchio e questo dato riguarda la maggior parte degli sport.

3.4.2.2 VALUTAZIONE CLINICA

I parametri che vengono presi in considerazione per la valutazione della lesione del LCA sono indici di una condizione specifica dell'articolazione del gi-

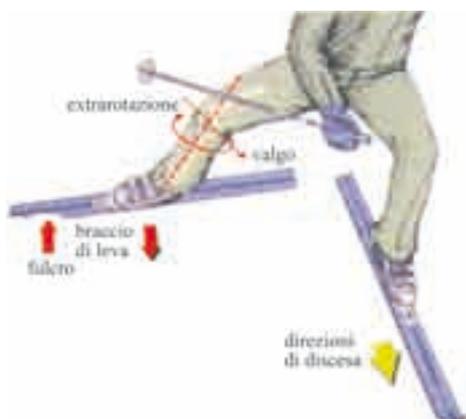


Fig. 216 • Schema dei traumi da sci in valgo-extrarotazione.



Fig. 217 • Schema dei traumi da sci in flessione-intrarotazione.

nocchio, quindi sono utilizzabili sia per appurare la gravità di una distorsione del ginocchio sia per verificare gli esiti di un trattamento conservativo o chirurgico.

I parametri sono classificabili in due gruppi: 1) valutazione strutturale; 2) valutazione funzionale.

Nella valutazione strutturale si ricercano quei segni diretti o indiretti della lesione della struttura legamentosa. Nella valutazione funzionale si ricercano quei segni diretti o indiretti dell'alterata funzione legamentosa. La conseguenza di una lesione della struttura è la lassità legamentosa. Di solito la conseguenza di una alterata funzione legamentosa è l'instabilità. Pur trovandosi spesso accoppiate, una non è sinonimo dell'altra. Si può riscontrare una lassità congenita o acquisita in modo traumatico senza instabilità.

La lassità è espressione della lesione anatomica capsulo-legamentosa a prescindere dal controllo muscolare.

L'instabilità è espressione della lesione legamentosa accoppiata ad una insufficienza dell'intervento stabilizzatore muscolare.

La valutazione strutturale si basa sui dati soggettivi dell'operatore (esame obiettivo) o sugli esami strumentali.

I dati rilevabili dall'operatore sono indirizzati a valutare la lassità del ginocchio, quindi il Lachman test e il segno del cassetto anteriore in condizione neutra sono indici di una lassità antero-posteriore; il jerk test o segno del resaut e il pivot shift sono indici di una lassità rotatoria.

3.4.2.2.1 Cassetto anteriore (anterior drawer test)

Il paziente è in posizione supina confortevole, ginocchio flesso di circa 90° e piede appoggiato al piano del lettino. L'esaminatore, posizionato di fronte al ginocchio, dopo aver afferrato posteriormente e il più prossimalmente possibile la tibia con entrambe le mani e aver opportunamente ridotto i tessuti molli, trazione dolcemente in avanti l'epifisi tibiale (fig. 218a).

Il test risulta positivo se l'esaminatore vede o percepisce con le mani una traslazione anteriore maggiore nel ginocchio traumatizzato rispetto a quello sano (Hoppenfeld 1976).

È sconsigliato sedersi sul piede del ginocchio da valutare (Larson 1983) perché il blocco del piede può limitare l'intrarotazione della tibia che a sua volta limita la traslazione anteriore del piatto tibiale (Fukubayashi et al. 1982).

È buona norma testare prima il ginocchio sano e dopo quello malato, ciò favorirà il rilassamento del soggetto.

Il cassetto anteriore può essere graduato in base alla valutazione soggettiva dell'esaminatore della quantità di traslazione anteriore in millimetri: primo grado da 1 a 5 mm; secondo grado da 5 a 10 mm; terzo grado superiore a 10 mm (Larson 1983). Il cassetto anteriore può essere eseguito con la tibia in condizione neutra, in extra ed intrarotazione, ciò permette di valutare contemporaneamente le strutture capsulari periferiche (Hughston et al. 1976) e ridurre gli errori di valutazione dovuti ad un blocco dell'intrarotazione.

Per Bousquet (1992) più il test del cassetto in posizione neutra è positivo e più esprime una lesione combinata del LCA e delle formazioni angolari periferiche; se, invece, la rottura del LCA è poco evoluta o isolata, è di modesta ampiezza e scarsamente significativo. Talvolta può essere anche assente nel "ginocchio serrato".

La sollecitazione in extrarotazione durante il cassetto anteriore è applicata sul compartimento interno. Una eccessiva traslazione anteriore-rotatoria esterna del compartimento mediale testimonia una lesione associata LCA, LCM e PAPI.

Il cassetto anteriore in intrarotazione positivo, testimonia una lesione grave del compartimento esterno (LCA, LCL e PAPE).

Il test del cassetto anteriore, usato per molti anni come elemento diagnostico base per la valutazione della lesione del LCA (Hoppenfeld 1976), ha perso di importanza dopo il lavoro di Torg et al. del 1976. In questo lavoro è stata sottolineata la scarsa affidabilità del test sia per i falsi negativi dovuti: 1) alla tensione provocata dall'emartro, frequentemente presente nelle lesioni acute, che inibisce la flessione del ginocchio a 90°; 2) dalla contrattura di difesa degli ischiocrurali che con il ginocchio a 90° risultano influenzare maggiormente la traslazione anteriore della tibia (Iversen et al. 1989) (fig. 218b); 3) dall'incunearsi del corno posteriore del menisco laterale tra piatto e condilo (fig. 218c).

Ci possono essere anche dei falsi positivi (Frank 1986) dovuti alla lesione del crociato posteriore, ciò è possibile se si prende come punto di riferimento la posizione posteriorizzata della tibia e non la reale posizione neutra; l'esaminatore in questo caso ricaverà una falsa impressione di abnorme escursione anteriore dovuta alla riduzione della sub-lussazione posteriore. L'affidabilità del test, bassa nelle lesioni acute, aumenta nelle lesioni croniche (Galway et al. 1972; Katz et al. 1986). È consigliabile, comunque, nel diagnosticare una lesione legamentosa del ginocchio, di utilizzare il test del cassetto insieme ad altri test. Una maggiore positività con il piede in extrarotazione, rispetto alla posizione neutra, sembra essere indice di una lesione del LCA e del LCM (Kurimura et al. 2004).

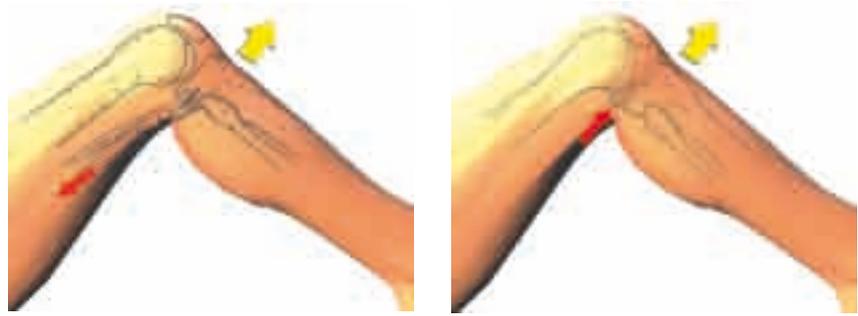


Fig. 218 • a) esecuzione del cassetto anteriore; b) schema dei falsi negativi per trazione degli ischiocrurali; c) schema dei falsi negativi per l'incunearsi del corno posteriore del menisco laterale tra la glena tibiale e il condilo femorale.

3.4.2.2.2 Lachman test

Con paziente disteso in posizione supina con le gambe il più possibile rilassate, l'esaminatore si posiziona dal lato del ginocchio leso e con una mano stabilizza la porzione distale del femore e con l'altra trazione in avanti la porzione prossimale della tibia (fig. 219). La trazione deve essere realizzata con il ginocchio flesso di circa 15°-20°. A volte, nella nostra esperienza, alcuni casi manifestano una maggiore traslazione anteriore ad angoli leggermente superiori (25°-30°), per tale motivo consigliamo di effettuare la manovra a diversi angoli.



Fig. 219 • Esecuzione del Lachman test.

Il test è positivo se si vede o si percepisce con le mani una maggiore traslazione del ginocchio traumatizzato rispetto al controlaterale. Un ulteriore dato, indicativo della lesione del LCA, è il fine corsa della traslazione: normalmente un fine corsa rigido (firm), con la sensazione sonora dell'arresto talvolta presente, è indice di un crociato funzionalmente sano. La presenza di un arresto soffice (soft), invece, è indice di una lesione; in

questo caso l'arresto è dovuto agli stabilizzatori secondari. Questa differenziazione del Lachman test entra per la prima volta in una scheda valutativa nel lavoro di Marshall del 1977.

A volte nelle ricostruzioni del LCA permane un anormale displacement anteriore rispetto ad un arto sano, dovuto a posizionamento o tensionamento del trapianto non completamente corretto. In questi casi è importante ricercare il fine corsa (endpoint) per valutare correttamente la lassità articolare (scheda IKCD) suddividendo un arresto brusco (firm endpoint) oppure morbido (soft endpoint). Un Lachman test può essere graduato con la stessa scala del cassetto anteriore, oppure come ha proposto Yasuda et al. (1989) in tre gradi: negativo (-), dubbio (-/+), positivo (+).

Il Lachman test è considerato il più sensibile e specifico test per la valutazione del LCA (Torg 1976; Jonsson et al. 1982; Larson 1983; Kim e Kim 1995). Il Lachman rispetto al cassetto anteriore è più attendibile e presenta meno falsi negativi, ciò è dovuto alla minore trazione degli ischiocrurali e al minor impegno dei menischi. I falsi negativi, in questo test, possono essere determinati da un manico di secchio del menisco mediale (Kong et al. 1995) che arresta la traslazione del condilo, oppure dall'attaccamento dell'estremo femorale del LCA al crociato posteriore (crociato in nutrice) (Kim e Kim 1995). Anche nel caso del crociato in nutrice la sensibilità del Lachman test (89,5%) risulta esser superiore sia al cassetto anteriore (68,4%) sia al pivot-shift (63,2%) (Kim e Kim 1995).

La maggiore attendibilità del Lachman, rispetto al cassetto, è stata valutata in vivo con utilizzo di particolari rilevatori di tensione introdotti sul LCA previa artroscopia (Rosemberg e Rasmussen 1984). Con una forza anteriore di 150N la tensione che si scarica sul LCA è maggiore con il ginocchio flesso di 30° (Lachman test) rispetto a quella con ginocchio flesso di 90° (cassetto anteriore).

Uno dei principali errori, che gli operatori poco esperti commettono, nell'eseguire queste manovre (cassetto e Lachman) è la forza utilizzata. Bisogna sempre tenere in mente che: 1) il soggetto ha subito un trauma, "fisiologicamente" tende a sviluppare delle contrazioni di difesa, tali contrazioni possono essere notevolmente esasperate se si sente aggredito; 2) le mani se sono impegnate a sviluppare forza perdono in termini di sensibilità e quindi capacità di percezione.

Bisogna usare le mani allo stesso tempo in modo deciso ma non aggressivo. L'unico svantaggio del Lachman test rispetto al cassetto è la necessità di avere la grandezza delle mani proporzionata alle dimensioni della gamba del paziente. In alcuni atleti di discipline che presentano dimensioni al di sopra della norma, può risultare difficile, anche alle mani più capaci, afferrare saldamente la terminazione femorale; in questi casi è consigliato adottare alcune varianti.

Alcuni Autori (Weiss et al. 1990; Wroble et al. 1993) per ovviare alla difficoltà di stabilizzare il femore, propongono di utilizzare il ginocchio dell'esaminatore come in figura 220; oppure di utilizzare l'avambraccio per trazionare la tibia (King 1982) o in alternativa di utilizzare le gambe per sostenere l'arto da valutare fuori dal lettino (drop leg Lachman) (Adler 1995) (fig. 221).

Per Feagin e Cooke (1989) la posizione prona tende ad ovviare a problemi legati alla dimensione del paziente e risulta essere più sensibile per la minore trazione esercitata dagli ischiocrurali, essendo l'anca estesa, e per la necessità di una minore spinta inferiore, essendo la tibia tralata in anteriorità dall'effetto gravitazionale (fig. 222). L'aspetto negativo di questa variante è la difficoltà di valutare visivamente la traslazione anteriore, quindi, bisogna affidarsi solo alla sensibilità delle mani.

Henning et al. (1985), a proposito della forza di trazione durante il Lachman test, valutando con degli strain gauge in vivo il tensionamento del LCA durante la trazione anteriore, confermano la maggiore validità del Lachman test rispetto al test del cassetto e consigliano di utilizzare delle forze tra le 60-801b per superare le resistenze delle strutture molli secondarie.

Un altro handicap di entrambi i test sovraesposti è legato alla necessità di avere un arto sano con cui effettuare il confronto e nel caso di lesione bilaterale si riduce l'affidabilità di queste valutazioni, per cui sono necessari altri test.

3.4.2.2.3 Pivot-shift test

Se i test precedentemente esposti analizzano la funzione del LCA sul piano sagittale, i test in rotazione analizzano il LCA soprattutto sul piano assiale con i movimenti di rotazione.

Si deve a Galway e Macintosh (1972; 1980) aver evidenziato per primi ed in seguito aver valutato, il fenomeno del pivot-shift nelle lesioni del LCA. Essi descrissero questo fenomeno per la brusca riduzione della sublussazione anteriore del piatto tibiale esterno quando il ginocchio viene flesso progressivamente, partendo dalla completa estensione.

L'esaminatore, con il paziente supino, solleva l'arto da testare con la mano che impugna la caviglia, dall'estensione flette il ginocchio cercando contemporaneamente l'intrarotazione della tibia e il valgo (fig. 223). Quando il ginocchio viene sollevato, per la forza di gravità, il femore si porterà posteriormente, l'assenza del LCA farà sublussare il piatto tibiale laterale relativamente in avanti ed in intrarotazione rispetto al condilo femorale omolaterale. Da questa posizione il ginocchio viene lentamente flesso, quando si raggiungono i 30°-



Fig. 220 • Variante del test di Lachman con utilizzo del ginocchio dell'operatore per sostenere il ginocchio del paziente.



Fig. 221 • Variante del test di Lachman con gamba del paziente sostenuta fuori dal lettino dalle ginocchia dell'operatore.



Fig. 222 • Variante del test di Lachman con paziente in posizione prona.



Fig. 223 • Test del test pivot shift per valutare le lassità in rotazione: a) posizione di partenza; b) posizione di arrivo in flessione e intrarotazione di tibia.

45° di flessione si assiste ad una brusca riduzione per il passaggio della fascia lata sul condilo femorale. La fascia lata con il ginocchio esteso agisce come abductore, con il ginocchio flesso la sua azione è di extrarotatore; il cambiamento tra queste due funzioni avviene con lo scavalco del condilo laterale (Muller 1986). Passando da abductore ad extrarotatore la fascia lata riduce la sub-lussazione tibiale; tale riduzione, oltre che essere visibile, a volte può essere percepita sia come un cedimento a livello delle mani sia come un “clunk” sonoro.

È stato dimostrato che il pivot-shift è specifico della rottura isolata del LCA (Reuben 1989). Il pivot-shift è di difficile esecuzione nei casi in cui ci sia la lesione associata del legamento collaterale mediale. A volte può risultare un falso negativo, nel caso in cui sia presente un allungamento della fascia lata in seguito ad un trauma o ad intervento chirurgico (Losee 1978), oppure in caso di lesione meniscale a manico di secchio (Kong 1994).

Katz e Fingerroth (1986) considerano il pivot-shift come il test manuale più specifico e sensibile, raggiungendo in fase acuta la sensibilità del 88,8% e in fase cronica (più di due settimane) 84,6%, mentre la specificità in entrambe le situazioni è maggiore del 95%.

Il test del pivot-shift può essere valutato: in due gradienti (positivo o negativo) oppure come proposto da Jakob et al. (1987) in tre gradienti, in base alla rotazione tibiale (neutra, intra ed extrarotazione) o ancora in quattro come proposto da Noyes (1980) ed adottato nella scheda di valutazione IKCD, in base alla facilità dello scivolamento (1-, 1+, 2+, 3+; negative, glide, clunk, gross).

È stata riscontrata una stretta correlazione tra la posizione dell'anca e la rotazione della tibia nella gradazione del pivot-shift test: l'abduzione dell'anca produce il più alto grado di scivolamento, seguito dalla posizione

neutra e dall'adduzione; l'extrarotazione incrementa la significatività del test sia con l'anca abdotta che addotta (Bach et al. 1988; Petermann et al. 1996).

3.4.2.2.4 Jerk test

Il jerk test è stato descritto per la prima volta da Hughston et al. nel 1976. Questo test rappresenta il pivot-shift rovesciato (reversed pivot-shift).

Si esegue con il paziente e l'esaminatore nella stessa posizione del test precedente, i due test si differenziano per la posizione di partenza del ginocchio che in questo test è la flessione di 90° e lentamente si estende (fig. 224). Al momento del passaggio bendelletta ileo-tibiale sul condilo (30°) si assiste alla sub-lussazione anteriore del piatto tibiale esterno. Tale abnorme movimento si accompagna spesso a fenomeni visibili e a volte anche sonori, ma risulta essere determinante la sensazione manuale di cedimento e di lussazione.

Sia per il pivot-shift che per il jerk test è essenziale un buon rilassamento del soggetto e ciò non è sempre possibile, visto che la manovra richiama il movimento traumatico lesivo. Donaldson et al. (1985) hanno riportato, in un'analisi di 101 soggetti con lesione del LCA valutati con il jerk test, una positività del 98% quando il soggetto veniva esaminato sotto anestesia contro il 35% con il paziente sveglio.

Altri test, quali flexion-rotation drawer test (Noyes et al. 1980) Slocum test (Slocum 1976) e Losee test (Losee et al. 1978), si basano sullo stesso principio dei due precedenti e differiscono solamente per piccoli particolari tecnici. Alcune valutazioni osteopatiche utilizzano il movimento di intra/extrarotazione con ginocchio flesso a 90° per valutare la lesione del LCA (Audouar 1989). Bisogna stare molto attenti ed avere una sensibilità manuale notevole per utilizzare isolatamente questo test, soprattutto perché alcuni lavori (Lane et al. 1994; Markoff et al.



Fig. 224 • Jerk test per valutare le lassità in rotazione: a) posizione di partenza; b) posizione di arrivo in estensione e intrarotazione di tibia.

1976; McQuade 1989) hanno dimostrato che la lesione del LCA non comporta delle grosse modifiche in termini di rotazione tibiale, quindi la stabilità rotazionale è principalmente a carico dell'apparato capsulo-legamentoso periferico e non del pivot-centrale. Un lavoro (Terry 1986) sull'argomento ha sottolineato l'importanza della bendelletta ileotibiale, e precisamente della banda definita ileotibial tract, nell'opporsi all'intrarotazione del piatto tibiale esterno.

Questi dati sono in contraddizione con quelli riportati da Kapandji (1996) in cui LCA ha un ruolo determinante nello stabilizzare l'intrarotazione. Altri lavori hanno verificato che il massimo sovraccarico in intrarotazione del LCA avviene quando il ginocchio è flesso a 15° - 30° (Arms et al. 1984; Wroble et al. 1993) o esteso (Shoemaker e Markolf 1985); a 90° si riduce notevolmente.

Prima della valutazione del jerk test bisogna preventivamente escludere del tutto lesioni del LCM perché, venendo a mancare il fulcro su cui ruota il piatto tibiale esterno, può essere fonte di falsi negativi (Donaldson et al. 1985).

Nella valutazione manuale del ginocchio è importante esaminare, insieme ai test del crociato anteriore, anche le strutture periferiche (LCM, LCL, PAPE, PAPI, POL) per escludere patologie associate. Se per i collaterali i test in varo o valgo stress possono dare delle indicazioni sulla maggiore o minore integrità, non esistono dei test specifici per evidenziare con precisione la condizione dei punti d'angolo. Alcuni Autori (O'Brien et al. 1991) ritengono che la principale fonte di fallimenti della ricostruzione del LCA è da attribuirsi alle lesioni associate e non riconosciute, dei punti d'angolo.

Nel linguaggio specialistico per i test in rotazione, rispetto ai test sagittali, si preferisce utilizzare il termine di "instabilità" invece di "lassità", quindi, dove

i test sono positivi, si riporta "instabilità rotatoria" e "lassità anteriore o posteriore" (Franco et al. 1994). Noi non concordiamo con questa differenziazione ingiustificata e utilizziamo in entrambi i test il termine "lassità" riservando il termine instabilità a quelle condizioni in cui l'afisiologico movimento (sub-lussazione) si verifica in condizioni funzionali e non artificialmente provocate. Se la lassità è strettamente collegata alla condizione capsulo-legamentosa del ginocchio, l'instabilità è la risultante di numerosi fattori tra i quali l'azione muscolare ha un importante ruolo (Noyes et al. 1980). Da questa considerazione scaturisce l'ipotesi che un ginocchio presenta un'instabilità rotatoria se è soggetto a dei fenomeni di giving way (Lysholm e Gillquist 1982), cioè delle sub-lussazioni durante movimenti funzionali della vita quotidiana o dell'attività sportiva; risulta essere lasso se i test manuali sono positivi. Se la lassità, per determinate condizioni biologiche della struttura collagena dei legamenti, può a volte essere considerata normale, la condizione d'instabilità è sempre anormale e quindi patologica (Noyes 1983).

3.4.2.3 VALUTAZIONE STRUMENTALE

La conferma della lesione del LCA di solito avviene attraverso una diagnosi strumentale. Tra le metodiche strumentali più utilizzate per verificare l'integrità legamentosa abbiamo: l'artrometria; la radiologia classica; l'imaging (TAc e RMN); l'artroscopia.

3.4.2.3.1 Artrometri

Gli artrometri sono degli strumenti utilizzati per quantizzare la traslazione (displacement) in senso sagittale della tibia rispetto al femore. Le prime ricerche sull'utilizzo dell'artrometro sono di White et al. del 1979; per l'artrometro più utilizzato, il KT 1000

(Med-Metric-San Diego-California), invece, i primi studi si devono a Daniel e datano 1985 (1985A; 1985B). Recentemente sono stati ideati strumenti computerizzati che permettono di quantizzare il movimento tibiale contemporaneamente su più piani dello spazio (*Knee Signature System-Acufex microsurgical Norwood MA; Genucom Knee Analysis System-Faro Medical Technologies Inc., Montreal, Canada; Stryker Knee Laxity Tester-Stryker Corp. Kalamazoo MI*), nei primi invece l'analisi avviene solo sul piano sagittale (*KT 1000, KT 2000, Dyonics Dynamic Cruciate Tester, Dyonics, Andover; MA, KLT, Smith and Nephew, DonJoy Inc; Knee Instability Tester-KIT*) (Shino et al. 1987).

Il funzionamento del KT 1000 si basa sulla distanza relativa tra due sensori, di cui quello rotuleo rappresenta il punto di riferimento da cui viene misurata la traslazione in millimetri del sensore tibiale. Con il paziente in posizione supina e gli arti inferiori disposti su appositi sostegni che mantengono le ginocchia flesse di circa 30° ed impediscono l'extrarotazione dell'anca, l'artrometro viene ancorato saldamente alla gamba mediante dei velcri (fig. 225a).

Con tale strumentazione si può valutare la traslazione anteriore della tibia rispetto al femore determinata da una forza esterna da parte dell'operatore, oppure determinata dall'attivazione del quadricipite del paziente. Per la trazione da parte dell'operatore lo strumento è dotato di un dinamometro che riesce a quantizzare la forza indotta.



Fig. 225 • Ancoraggio del KT1000 e valutazione del LCA previa trazione da parte dell'operatore.

L'artrometro, pur se le prime applicazioni risalgano a circa 40 anni fa, non è mai diventato uno strumento utilizzato su larga scala, per tale motivo rimandiamo il lettore interessato ad approfondire l'argomento ad altri test specialistici del ginocchio (Colonna 1997).

3.4.2.3.2 Radiologia classica

La radiologia classica normalmente non permette di mostrare direttamente le lesioni legamentose, a volte può essere utile, evidenziando dei segni indiretti della lesione, per confermare la diagnosi.

Nei radiogrammi laterali, soprattutto se viene utilizzato un mezzo di contrasto, possono evidenziarsi delle fratture della spina tibiale frequentemente associata all'avulsione del LCA nei soggetti giovani (Pavlov et al. 1983).

Il segno di Segond è una frattura ed avulsione per trazione della capsula articolare (Dietz et al. 1986) di una piccola area del plateau tibiale laterale, nella zona prossimale alla rima articolare, posteriormente all'inserzione della bendelletta ileotibiale sul tubercolo di Gerdy (Bach 1988). Questa frattura, variabile come dimensioni nell'ordine di millimetri ed orientata verticalmente, è ben evidenziabile nelle proiezioni antero-posteriori (fig. 226). Descritta per la prima volta da Segond nel 1879, mentre sperimentalmente valutava la reazione di reperti anatomici a degli stress torsionali, è stata riscontrata successivamente da diversi Autori, anche in vivo negli adulti e nei giovani, associata con una alta frequenza alla lesione del LCA (Dietz et al. 1986; Falciglia et al. 2008). Un altro reperto radiologico, associato frequentemente alla lesione del LCA e da alcuni Autori definito come notch sign di Warren (Cipolla et al. 1994), è la frattura condrale del condilo laterale (lateral notch fracture) (Bach 1988). Tale segno, evidenziabile nelle proiezioni laterali, è stato per la prima volta descritto nel 1978 da Losee et al. e venne paragonato alla lesione di Hill-Sachs della spalla lussata. Questo reperto consiste in un solco pronunciato, evidenziabile nella silhouette del condilo laterale, che gli Autori francesi chiamano encoche, mentre dagli anglosassoni definito condyle indentation. Se la profondità è superiore a 2 mm viene considerato un segno indicativo della lesione del LCA (Bach 1988).



Fig. 226 • Radiogramma AP di ginocchio dove si evidenzia (freccia gialla) il segno di Segond.

Un ulteriore utilizzo della radiologia classica, anche se scarsamente impiegato, è la valutazione radiografica del segno clinico del Lachman. La traslazione anteriore della tibia, nelle lesioni del LCA, può essere numericamente quantizzabile utilizzando gli artrometri oppure con delle radiografie sotto stress.

Le indagini radiografiche sotto stress, utilizzate per quantizzare la traslazione anteriore in caso di lesione del LCA, sono molteplici, quella più utilizzata è la tecnica di Lachman-Trillat (*Dejour et al. 1989*). L'esame consiste nel confrontare la traslazione anteriore del piatto tibiale nel ginocchio patologico con il sano durante la contrazione del quadricipite per sollevare un peso di 7 o 15 kg. Le difficoltà tecniche nascono dal prendere di infilata i due condili in modo da non avere delle sfasature che rendono meno precise le misurazioni. È consigliato il posizionamento del ginocchio sotto controllo di amplificatore di brillantezza in modo da posizionare correttamente la rotula allo zenit.

Nei soggetti sani è stata riportata una traslazione anteriore assoluta di circa 3,5 mm; mentre nei soggetti con lesione isolata del LCA la traslazione anteriore media è stata di 10,2 mm. Per gli Autori un valore inferiore di 3 mm è indice di integrità del LCA, mentre, un valore superiore a 8 mm è indicativo di una lesione. La misurazione differenziale tra i due arti (arto patologico meno l'arto sano) è considerata più affidabile ed è stato riportato come indice sicuro al 100% di lesione del LCA un valore superiore a 2 mm (*Castagnaro et al. 1994*).

I vantaggi di questo esame sono l'elevata precisione non legata all'operatore e l'esclusione dei tessuti molli; gli svantaggi sono legati all'esigenza di un centro radiologico e l'esposizione a radiazioni.

Altri Autori (*Rijke et al. 1991*) propongono, con il paziente in posizione supina, di appoggiare il polpaccio ad un supporto fisso, sollevato rispetto al piano della restante parte del corpo in modo da flettere di circa 30° il ginocchio. Il peso della coscia con in più un sacchetto di sabbia spinge il femore in basso, il femore non avendo nessun supporto rigido trasla posteriormente in relazione alla tibia. I radiogrammi laterali effettuati in questa condizione, paragonati ai radiogrammi standard in posizione di fianco, danno l'esatta misura della traslazione anteriore dovuta al deficit del LCA. Un valore superiore a 6 mm è indicativa della lesione del LCA.

Prima dell'avvento della RMN l'artrografia aveva un ruolo predominante nella diagnosi delle lesioni meniscali, legamentose e cartilaginee (*Pavlov et al. 1983; Castagnaro et al. 1994; Malcom et al. 1985*). Attualmente la maggiore precisione e la minore invasività della RMN hanno ridotto l'utilizzo dell'artrografia nella valutazione delle lesioni del ginocchio.

3.4.2.3.3 RMN-TAC

La diagnosi clinica della lesione del LCA raggiunge, in mani esperte, dei livelli di affidabilità notevoli, ma alcune volte l'utilizzo della diagnosi strumentale ai fini di una conferma si rende necessaria. Nelle lesioni del LCA il ricorso alla diagnosi per immagini è richiesto, di solito, in tre specifiche condizioni: nei casi

in cui le manovre cliniche non consentono di stabilire la presenza della lesione e la sua entità; documentazione ai fini medico-legali; dimostrazioni di lesioni associate (punti d'angolo, meniscali e condrali) (*Masciocchi et al. 1994*).

La maggiore capacità discriminativa per i tessuti molli (*Schils et al. 1990*), una sempre maggiore diffusione e la costruzione di macchine specifiche per le articolazioni periferiche (artrosan), le quali hanno permesso un abbattimento dei costi, depongono per una maggiore indicazione della RMN rispetto alla TAC nelle lesioni legamentose del ginocchio. Per tale motivo e per esigenze di spazio ometteremo di trattare l'utilizzo della TAC.

L'utilizzo della RMN nella diagnosi della rottura del LCA e nella valutazione delle lesioni associate è stata ben documentata. Attraverso la RMN è ben evidenziata la condizione del LCA sano (fig. 227a) e lesionato (fig. 227b), inoltre sono evidenziabili le lesioni meniscali (*Cruess et al. 1987; Glashow et al. 1989*) (fig. 227c), le lesioni sottocondrali (*Engebretsen et al. 1993; Graf et al. 1993; Kaplan et al. 1992*) (fig. 227d) e le lesioni dei punti d'angolo (*De Paulis et al. 1994*) (fig. 227e).

Per la valutazione PAPE può risultare importante la ricerca del "arcuate sign" (AS) mediante radiologia classica o con RMN (fig. 228). Tale segno è dovuto ad una frattura con distacco della porzione prossimale della stiloide peroneale (*Shindell et al. 1984*). Tale avulsione, pur se collocata nelle vicinanze, è differente da quella di Segond che si realizza sulla tibia (fig. 229). È indice di una instabilità postero-laterale e può essere associata alla lesione di entrambi i crociati, al LCL e al tendine del popliteo (*Huang et al. 2003*).

I lavori in letteratura sono abbastanza concordi per un'alta sensibilità e specificità della RMN nella valutazione delle lesioni del LCA (*Barry et al. 1996; Friedman et al. 1996*).

La RMN è stata consigliata anche per seguire l'evoluzione delle condizioni del LCA, nei casi in cui si propenda per il trattamento conservativo (*Ihara et al. 1996*).

Se per l'analisi delle lesioni complete del LCA non ci sono dubbi sulla precisione della RMN, la stessa cosa non si può certo dire nelle lesioni parziali. La sensibilità cala dal 100% per le lesioni totali all'11% per le lesioni parziali (*Lawrance et al. 1996; Yao et al. 1995*). È utile in questi casi utilizzare soprattutto le scansioni assiali effettuate con spessori non superiori ai 3 mm per tutta la lunghezza del legamento e associare alle sequenze in T1 pesate anche quelle in T2 pesate, spin-echo o gradient-eco (*Masciocchi et al. 1994*). Infatti, le sequenze in T2 pesate sono in grado di differenziare la porzione residua del legamento dall'edema e dagli infarcimenti siero-emorragici tipici dei traumi acuti.

In alcuni casi sono importanti i segni secondari. Tali

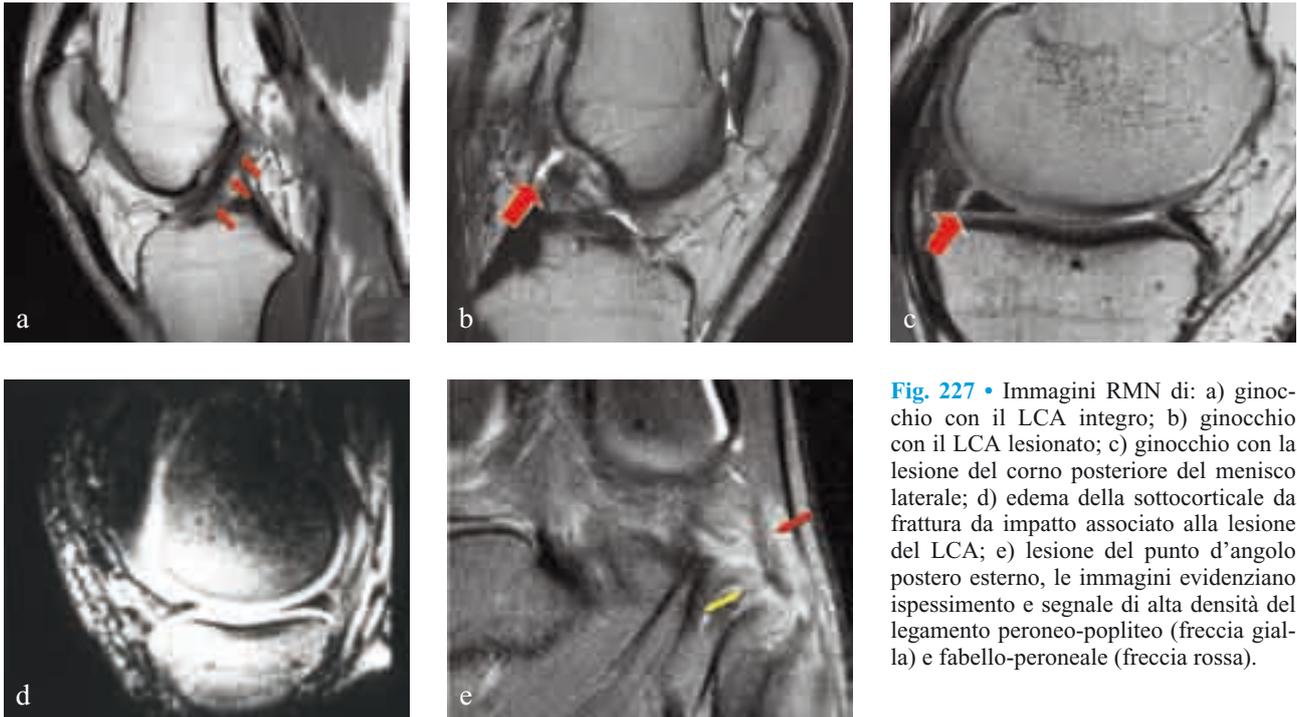


Fig. 227 • Immagini RMN di: a) ginocchio con il LCA integro; b) ginocchio con il LCA lesionato; c) ginocchio con la lesione del corno posteriore del menisco laterale; d) edema della sottocorticale da frattura da impatto associato alla lesione del LCA; e) lesione del punto d'angolo postero esterno, le immagini evidenziano ispessimento e segnale di alta densità del legamento peroneo-popliteo (freccia gialla) e fabello-peroneale (freccia rossa).

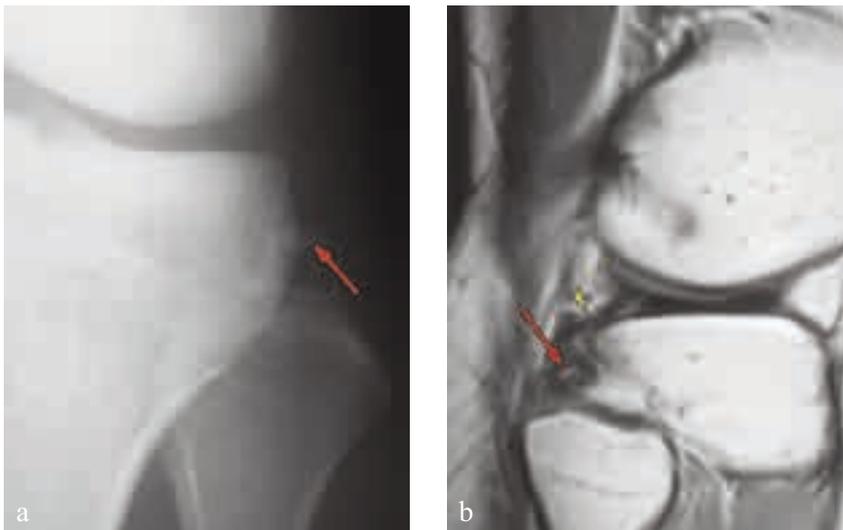


Fig. 228 • a) radiogramma AP di ginocchio dove si evidenzia (freccia rossa) il distacco dell'apice della stiloide peroneale (arcuate sign); b) immagine RMN dove si evidenzia il distacco di un frammento dell'apice peroneale (freccia rossa) dislocato vicino al tendine del popliteo (freccia gialla).



Fig. 229 • Schema della frattura di Segond (freccia rossa) e dell'apice peroneale (freccia gialla).

segni avendo un'alta specificità confermano, se riscontrati, la lesione del LCA, però, avendo una bassa sensibilità, se non riscontrati non permettono l'esclusione della lesione (Gentili et al. 1994).

Diversi Autori (Grontvedt et al. 1995; Vellet et al. 1991; Spindler et al. 1993) ipotizzano che le lesioni sottocondrali (bone bruises) riscontrate con un'alta frequenza, circa l'80%, nelle lesioni del LCA, possono degenerare in gravi lesioni cartilaginee.

Chan et al. (1991) hanno proposto una classificazione in 4 stadi delle lesioni osseo-cartilaginee evidenziabili

li alla RMN:

- grado 0, normale, non evidenziabile nessuna modifica;
- grado 1, lesione lieve, minimi cambiamenti dell'osso sottocondrale e riduzione di 1/3 dello spessore della cartilagine sovrastante;
- grado 2, lesione moderata, crack, flap ed edema della cartilagine con un assottigliamento compreso da 1/3 a 2/3;
- grado 3, lesione grave, notevole degenerazione con alcune zone completamente scoperte di car-

tilagine.

Se non ci sono più dubbi sull'utilità della RMN nella diagnosi della lesione del LCA, controverso è l'utilizzo nella valutazione dell'integrità del trapianto nelle ricostruzioni. Se per Maywood et al. (1993) esiste una correlazione tra esame clinico e responso della RMN, per altri Autori (Cheung et al. 1992; Yamato e Yamagishi 1992; Grontvedt et al. 1995) la RMN non riesce a determinare accuratamente l'integrità del trapianto.

Yamato e Yamagishi (1992) hanno classificato le immagini della RMN nelle ricostruzioni del LCA in quattro gruppi:

tipo 1: fibre scure continue dal tunnel femorale al tunnel tibiale;

tipo 2: bande scure visibili solo a livello prossimale (inserzione femorale);

tipo 3: bande scure visibili solo a livello distale (inserzione tibiale);

tipo 4: nessuna banda o stria scura.

3.4.2.3.4 Esame ecografico

Alcuni lavori (Chylareck et al. 1996) riportano i risultati della valutazione delle lesioni del LCA mediante utilizzo dell'ecografia. I dati concordano per un'alta sensibilità (95%) e specificità (98%) dell'ecografia nella valutazione del LCA. Questi risultati non sono stati confermati e sicuramente l'ecografia risulta meno precisa della risonanza magnetica.

3.4.2.3.5 Artroscopia

Un ulteriore sistema per verificare la condizione anatomica dell'ambiente articolare è l'esame artro-

scopico. È sottinteso che tale presidio chirurgico non può essere applicato di routine, quindi lo si utilizza solo in casi dove ci sia la reale necessità. L'artroscopia presenta il notevole vantaggio di essere molto precisa nella valutazione della lesione del LCA (fig. 230a), potendo effettuare anche una valutazione della tensione del legamento (fig. 230b) e della cartilagine articolare visivamente raggiungibile (fig. 231a, fig. 231b); ha lo svantaggio di essere un esame invasivo e di non riuscire ad evidenziare adeguatamente alcuni dei fenomeni specifici della lesione del LCA, ad esempio l'osteofita del margine posteriore della tibia o le lesioni sottocondrali.

Illustri Autori come Ficat (1979), Goodfellow (1976), Insall (1976) si sono cimentati nel classificare i disordini degenerativi delle lesioni cartilaginee. La classificazione più specifica all'indagine artroscopica è quella di Noyes (1989) che si basa su quattro variabili: 1) tipo di lesione della cartilagine (incrinatura, fissurazione, fibrillazione e frammentazione) o esposizione dell'osso sub-condrale; 2) estensione in profondità; 3) estensione in larghezza; 4) localizzazione della lesione (rotula, troclea, condili, piatto tibiale).

3.4.2.4 VALUTAZIONE FUNZIONALE

Se nel precedente paragrafo abbiamo affrontato la valutazione delle struttura anatomica, in questo viene presa in considerazione la valutazione diretta o indiretta della funzione stabilizzante del LCA. La valutazione della funzione viene analizzata attraverso movimenti semplici del ginocchio quali l'estensione



Fig. 230 • Visione artroscopia del LCA; a) legamento integro; b) legamento continuo ma lasso.

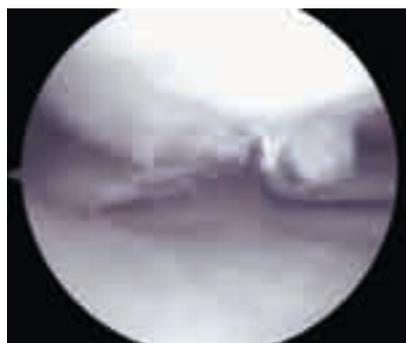


Fig. 231 • a) immagine artroscopica con l'uncino palpatore che mette in evidenza una lesione di 1° grado della cartilagine del condilo femorale mediale; b) immagine artroscopica con l'uncino palpatore che mette in evidenza una lesione di 2°-3° grado della cartilagine del condilo femorale mediale.

del ginocchio in modalità isocinetica, durante la deambulazione, oppure attraverso la valutazione della propriocettività per sottolineare l'importanza di questo sistema nella funzione del LCA. Questi argomenti sono specifici per chi si interessa di rieducazione funzionale, per tale motivo rimandiamo il lettore a testi riguardanti tali argomenti (Colonna 1997).

3.4.2.5 TERAPIA CONSERVATIVA E PREVENZIONE

Nel caso di una lesione completa del LCA è indicato l'intervento chirurgico, perché il ginocchio diventando instabile è soggetto ad ulteriori distorsioni con la possibilità di lesioni cartilaginee e meniscali. Seitz et al. (1996) hanno rilevato che nel 65% dei deficit del LCA il paziente subisce una lesione meniscale secondaria in media nei 2.5 anni successivi alla lesione legamentosa.

Nel caso di una lesione parziale, invece, non è ben chiaro come comportarsi. Nei casi in cui si sceglie la via conservativa e non chirurgica l'attività di rieducazione coincide con il lavoro di prevenzione.

Un lavoro di prevenzione è molto utile anche per chi ha già subito la lesione del LCA ad un ginocchio; prevenzione indirizzata non solo all'articolazione operata, per limitare la possibilità di una recidiva, ma soprattutto all'arto controlaterale che statisticamente presenta una maggiore incidenza di lesione (Salmon et al. 2005; Swärd et al. 2010).

La prevenzione cerca di ridurre non solo le lesioni del LCA ma anche le sequele degenerative che si manifestano anche se il legamento viene sostituito chirurgicamente con successo.

È stato realizzato uno studio longitudinale durato 12 anni che ha seguito delle atlete praticanti il calcio, età media 31 anni, operate di ricostruzione del LCA (Lohmander et al. 2004); viene riportato che l'82% delle ginocchia avevano dei cambiamenti degli indici radiografici e il 51% presentavano una franca osteoartrite del ginocchio.

Nella pallavolo come nel basket e nel calcio, la donna è più soggetta, rispetto all'uomo, alle lesioni legamentose del ginocchio. La causa che produce questa maggiore incidenza nelle donne non è stata ancora chiarita completamente (Shultz 2008).

I traumi che inducono le lesioni legamentose si possono suddividere in traumi da contatto, di solito con un altro atleta e traumi da non contatto, cioè subiti autonomamente.

Nelle lesioni da contatto vengono a scaricarsi sul ginocchio delle forze anomale non prevedibili. Immaginiamo, per esempio, l'entrata in scivolata del calciatore, se arriva con il piede contro la gamba dell'avversario, è difficile preventivare l'effetto perché dipende

da tante variabili, non sempre codificabili.

Nelle lesioni che avvengono senza un contatto è il peso corporeo che induce lo stress lesionale durante cambi di direzione repentini, atterraggio da un salto o rotazione del tronco con il ginocchio in quasi completa estensione e piede "piantato" al suolo (Alentorn-Geli et al. 2009). Le strutture legamentose del ginocchio sono preparate a sopportare degli stress elevati se utilizzate su dei piani di movimento preposti. Quando l'articolazione lavora al di fuori di questi piani fisiologici, facilmente i legamenti vanno incontro a rotture, soprattutto se non supportati dai muscoli.

Negli ultimi anni sono stati pubblicati diversi lavori che possiamo suddividere, in base all'argomento, in due categorie: valutazione cinematica dei gesti a rischio; valutazione di un programma neuromuscolare di prevenzione.

La maggiore predisposizione delle donne alla lesione del LCA è multifattoriale, sono presenti dei fattori intrinseci ed estrinseci.

I fattori estrinseci sono le calzature e le superfici di gioco. Sulle superfici sintetiche, rispetto al legno (parquet), è maggiore la frequenza delle distorsioni e di conseguenza della lesione del LCA; inoltre, la donna rispetto all'uomo presenta una maggiore incidenza di lesioni sulle superfici sintetiche (Silvers e Mandelbaum 2007).

I fattori intrinseci sono: anatomici, ormonali, neuro-nali e biomeccanici (Hewett et al. 2006A).

L'allineamento anatomico dell'estremità inferiore del corpo è stato proposto come un fattore di rischio per le patologie del ginocchio, quali la sindrome femoro-rotulea e le lesioni del LCA (Beckett et al. 1992; Woodford-Rogers et al. 1994; Loudon et al. 1996; Hertel et al. 2004).

Le differenze anatomiche tra donna e uomo che sembrano essere presenti sono, oltre ad un differente asse di tutto l'arto inferiore, un più sottile legamento e una ridotta larghezza della gola intercondilica (Shelbourne e Llootwyk 1986).

Per quanto riguarda le correlazioni tra la lesione del LCA e la fase del ciclo mestruale, alcuni autori (Wojtys et al. 1998) riscontrano un aumento significativo di tali lesioni durante la fase di ovulazione (dal 10° al 14° giorno) del ciclo mestruale, mentre per altri (Myklebust et al. 1998) è presente una riduzione della frequenza tra l'ottavo e il quattordicesimo giorno del ciclo.

Riguardo la maggiore predisposizione ai traumi della donna rispetto all'uomo, sono state avanzate una serie di accreditate ipotesi tra le quali alcune sottolineano il maggiore valgo anatomico del ginocchio nel piano coronale. Altre, invece, danno più risalto al fattore neuromuscolare che condiziona una differente coordinazione biomeccanica durante il gesto tecnico. Le donne, per esempio, eseguono: l'atterraggio da un salto in posizione più estesa (Chappell et al.

2007); con un maggiore carico in abduzione (McLean et al. 2005B; McLean et al. 2007); attivano maggiormente il quadricipite (Moore e Wade 1989; Malinzak et al. 2001; Griffin et al. 2006; Yu et al. 2006) e in minor misura ed in ritardo gli ischiocrurali (Malinzak et al. 2001) e il grande gluteo (Zazulak et al. 2005); dimostrano una differente attivazione agonisti-antagonisti (Palmieri-Smith 2008; Palmieri-Smith 2009); un maggiore movimento e carico del ginocchio fuori dal piano di appoggio (McLean et al. 2005A; McLean et al. 2005B; Kernozek et al. 2005; McLean et al. 2007); una maggiore intrarotazione della tibia per iperpronazione del piede (caduta dello scafoide) (Woodfordrogers et al. 1994).

Il valgo dinamico con l'intrarotazione adduzione dell'anca (fig. 232a) durante la ricaduta, movimento associato alla lesione del LCA, sembra avere una diretta correlazione con la lassità sul piano assiale (intra-extra) e sul piano coronale (varo-valgo) del ginocchio (Shultz et al. 2009). I soggetti che durante la fase di ricaduta, ammortizzano portando troppo le ginocchia in dentro (valgo) tendono ad aprire il compartimento

interno, quindi, sono predisposti alle lesione del collaterale mediale e del crociato anteriore (Myer et al. 2010A, 2010B, 2011A, 2011B).

Questa posizione di eccessivo valgo che coinvolge tutto il corpo (fig. 232b) è stata definita "punto di non ritorno" (Ireland 1999).

Mayer et al. (2010A; 2010B; 2011A; 2011B) hanno recentemente ideato un normogramma in cui, dando un determinato peso a delle variabili dei soggetti testati, si ottiene un indice definito KAM (Knee Abduction Moment), il quale sembra direttamente collegato al rischio di rottura del LCA (tab. 7). Le variabili prese in considerazione sono: 1) lunghezza della tibia; 2) massimo angolo di valgo durante la ricaduta (traslazione lineare del ginocchio medialmente); 3) massima flessione durante la ricaduta; 4) massa corporea; 5) rapporto di forza quadricipite/ischiocrurali. In tabella 8 è riportato un esempio dell'utilizzo del normogramma di Myer, il soggetto testato presentava: 35 cm la lunghezza di tibia; 7.4 cm di valgo; flessione del ginocchio 65.8°;

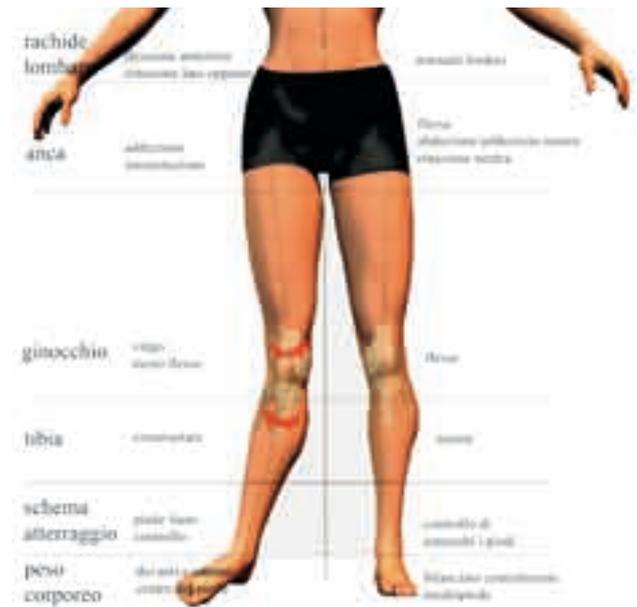
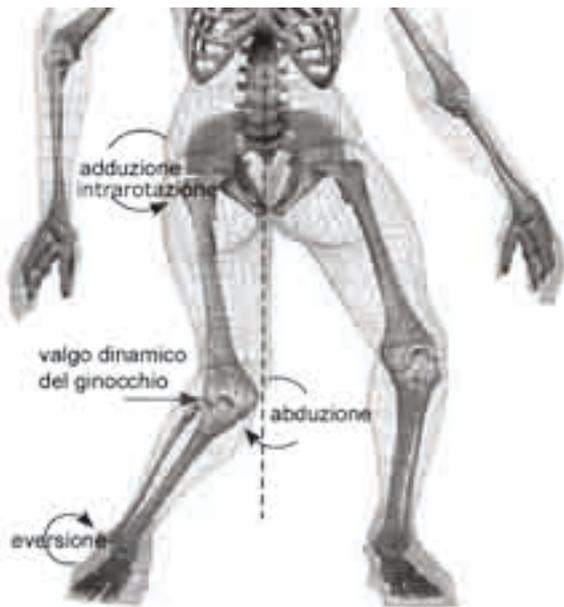
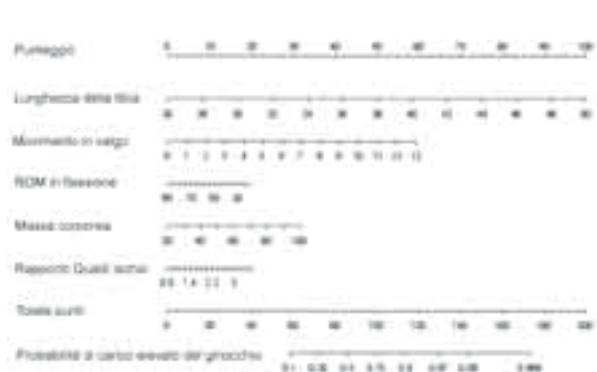
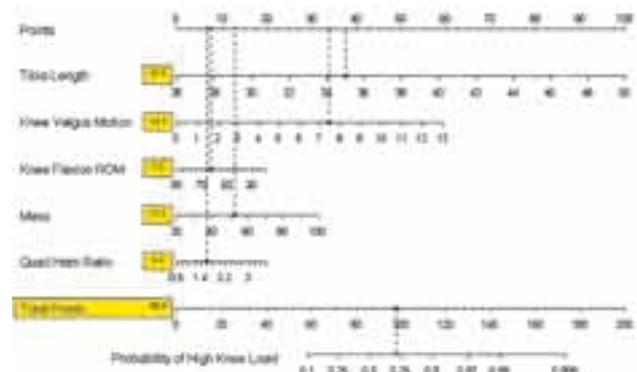


Fig. 232 • a) schema del valgo dinamico dell'arto inferiore; b) schema della postura di "punto di non ritorno" di Ireland 1999.



Tab. 7 • Normogramma di Myer (da Myer et al. 2010D modificato) per la valutazione del rischio di lesione del LCA.



Tab. 8 • Esempio applicativo del normogramma (da Myer et al. 2010A modificato).

52 kg di massa corporea; 1.55 di rapporto forza del quadricipite/ischiocrurali. Ognuno di questi dati, riportati sulla scala superiore, acquisivano un determinato punteggio (peso), evidenziato anche nella casella gialla. La somma dei singoli punteggi, in questo caso 98, riportato nella scala del punteggio totale, corrisponde sulla scala delle probabilità di un alto carico del ginocchio di 73%, il quale è sicuramente un alto indice di KAM e indirettamente di rischio di lesione del LCA.

Sembra che le femmine con il crescere, dopo la pubertà aumentino l'atteggiamento del valgo dinamico durante la ricaduta, mentre i maschi hanno la tendenza a ridurlo (Schmitz et al. 2009).

Nel mondo scientifico si fa sempre più strada la possibilità che i fattori neuromuscolari e di conseguenza biomeccanici, siano modificabili, per tale motivo essi recentemente hanno avuto una particolare attenzione da parte dei ricercatori.

Attraverso studi in vitro e modelli matematici i ricercatori hanno suggerito che un isolato carico sul piano sagittale, per quanto ampio, sembra che sia insufficiente a determinare la lesione del LCA (McLean et al. 2004; Quatman e Hewett 2009); l'inserimento di un carico nel piano frontale, invece, è capace di indurre un aumento notevole dello stress tensionale sul LCA (Withrow et al. 2005) e nei gradi estremi determinare la lesione (McLean et al. 2004). Per tale motivo l'abilità della componente neuromuscolare di controllare il carico in abduzione (valgo) ha ricevuto un particolare interesse negli ultimi anni (Palmieri-Smith et al. 2009).

La donna, per motivi di gestazione e di parto, presenta un bacino più largo rispetto agli uomini. Il bacino più largo condiziona l'asse del femore, il quale determina a livello del ginocchio un maggiore valgo, (nell'uomo è di circa 175° mentre nella donna è di circa 170°) (fig. 233a; fig. 233b) e di conseguenza, essendoci una stretta correlazione tra l'angolo femoro-tibiale e l'angolo del muscolo quadricipitale, un maggiore angolo Q (Haycock e Gillette 1976; Zelisko et al. 1982). È intuitivo che se un'abnorme forza, di solito determinata dal peso del corpo in caduta da un salto, si scarica in maniera non equilibrata sul ginocchio, tenderà, nel ginocchio valgo, a chiudere la parte laterale (rima laterale) ed aprire la parte mediale (rima mediale). Le strutture che si oppongono a tale abnorme movimento sono il legamento collaterale mediale e il legamento crociato anteriore.

Il quadricipite e gli ischiocrurali hanno la potenzialità di provvedere, per il loro momento di forza sviluppato in abduzione/adduzione, alla stabilità dinamica sul piano frontale (Lloyd e Buchanan 2001; Lloyd et al. 2005). Come tale, questi muscoli, si oppongono limitando i danni al quale è sottoposto il ginocchio per via di questi abnormi stress.

In letteratura sono riportati dei dati che suggeriscono che la donna utilizza delle strategie neuromuscolari che incrementano il carico del ginocchio in abduzione, il quale rappresenta una importante componente lesionale del LCA (Rozzi et al. 1999; McLean et al. 2004; Myer et al. 2005).

La donna, infatti, sembra che preferisca attivare il quadricipite e gli ischiocrurali laterali a discapito dei mediali (Rozzi et al. 1999; Myer et al. 2005; Palmieri-Smith et al. 2008; Palmieri-Smith et al. 2009).

Il perché la donna utilizzi maggiormente la componente laterale degli ischiocrurali e del quadricipite, comportando un maggiore rischio di lesione del LCA, è ancora sconosciuto.

Per alcuni Autori (Rozzi et al. 1999) l'iperattivazione del bicipite coadiuva a salvaguardare il LCA limitando sul piano sagittale la traslazione anteriore della tibia e sul piano assiale limitando l'intrarotazione della tibia, ma ciò comporta un incremento della forza lesiva sul piano frontale (Palmieri-Smith et al. 2009).

Sull'ipotesi relativa alla coordinazione neuromuscolare, recentemente sono stati pubblicati diversi lavori che sottolineano l'importanza del movimento di ricaduta e la possibilità di correggere questi abnormi gesti ai fini della prevenzione (Noyes et al. 2005).

In questi nuovi studi i soggetti che durante l'atterraggio dal salto eseguivano un eccessivo movimento di valgo-abduzione del ginocchio, presentavano una maggiore predisposizione alle distorsioni e di conseguenza alle lesioni legamentose. In queste ricerche non viene presa in



Fig. 233 • Schema dell'asse dell'arto inferiore con l'angolo di valgo del ginocchio nell'uomo (a) e nella donna (b).

considerazione la conformazione ma il movimento dinamico che viene eseguito durante l'atterraggio. L'analisi statica dell'angolo Q non è correlata all'angolo in valgo durante l'attività dinamica (Gray e Taunton 1985).

Alcuni Autori (Fung e Zhang 2003), studiando delle dissezioni, hanno evidenziato come durante l'esasperato valgo con il femore in intrarotazione rispetto alla tibia, il bordo supero-laterale del gola intercondilica possa determinare, per contatto diretto (ghigliottinamento), un alto grado di tensione sul LCA, tensione che può facilmente indurre una rottura.

Sicuramente non è l'atterraggio bipodalico ad essere traumatico, ma la ricaduta su un solo arto (Ireland 1999). Questi soggetti, con un maggiore valgo dinamico bipodalico, acquisiscono una modalità di ricaduta dopo il salto che atterrando su entrambi i piedi non crea squilibri patologici; ma quando, per un errore di valutazione, si sbilanciano in fase di volo e atterrano su un solo arto, l'eccessivo valgo può risultare traumatico. L'evento traumatico prevede uno stato di "disattenzione" al movimento di ammortizzazione della ricaduta al suolo, infatti, atleti che durante l'atterraggio bipodalico presentano un accentuato angolo in valgo del ginocchio eseguono correttamente il gesto se gli viene richiesto il salto e l'atterraggio su un solo arto a secco, cioè senza la palla (single-legged functional hop testing) (Barber-Westin et al. 2006).

In una valutazione prospettica di 207 atlete (calcio, basket, pallavolo) 9 furono interessate a lesione del LCA (Hewett et al. 2005). Queste atlete presentavano, durante l'atterraggio dal salto, un angolo di abduzione 2.5 volte maggiore (8°) rispetto alle altre atlete. Gli Autori ritengono che l'incremento dell'angolo e del momento di forza in abduzione del ginocchio, l'incremento del picco di forza verticale al suolo e la riduzione dell'angolo di massima flessione durante l'atterraggio sono elementi associati alla lesione del LCA che avvengono durante i traumi non da contatto. Valutando statisticamente i risultati di questo lavoro, il valgo dinamico del ginocchio presenta una specificità del 73% e sensibilità del 78% per le lesioni del LCA (Hewett et al. 2005).

Un recente lavoro (Hewett et al. 2009) ha confrontato i video di 17 traumi (10 donne e 7 maschi) distorsivi del ginocchio, con lesione del LCA, con i video di 6 atlete di controllo che eseguivano lo stesso movimento. I risultati sono indicativi di una maggiore lateroflessione del tronco e abduzione del ginocchio nei gesti traumatici delle donne rispetto ai maschi e ancor di più rispetto al gruppo di controllo.

Una delle cause della maggiore frequenza della lesione del LCA nelle donne è, quindi, attribuibile ad un'alterata coordinazione neuromuscolare; come tale possiamo inserire, come eziopatogenesi, la lesione del LCA nelle "impairment sindrome" della Sahrman (2002).

Questa erronea coordinazione motoria può essere recuperata con uno specifico allenamento. Questo allenamento deve essere indirizzato a far prendere consapevolezza all'atleta dell'abnorme movimento e attraverso la continua ripetizione a secco, reimpostare in modo corretto la ricaduta.

Diversi lavori (Ettlinger e Shealy 1995; Caraffa et al. 1996; Hewett et al. 1999; Soderman et al. 2000; Heidt et al. 2000; Silvers e Mandelbaum 2001; Myklebust et al. 2003; Gilchrist et al. 2004; Olsen et al. 2005; Petersen et al. 2005; Noyes et al. 2005; Mandelbaum et al. 2005; Hewett et al. 2006B; Myer et al. 2006; Gilchrist et al. 2008; Hägglund et al. 2009) sono stati pubblicati sulla valutazione di un programma di allenamento neuromuscolare coordinativo per la riduzione dei gesti sportivi a rischio e di conseguenza dell'incidenza della lesione del LCA.

È stata eseguita anche una revisione di una parte di questi lavori con la valutazione statistica (metanalisi) dell'efficacia di un lavoro neuromuscolare specifico sulla prevenzione delle lesioni del LCA (Grindstaff et al. 2006); gli Autori riportano una evidente efficacia preventiva da parte di questi programmi specifici.

Tali programmi si basano sulla consapevolezza al gesto scorretto utilizzato durante i movimenti a rischio (atterraggio dal salto, cambio di direzione, torsioni su un piede) e con esercizi specifici sulla progressiva modifica e automatizzazione del gesto corretto.

È logico che questo "ricondizionamento" è più facilmente assimilabile quando il soggetto è giovane e di conseguenza più plasmabile.

Alcuni lavori hanno provato a verificare se un programma specifico di prevenzione riesca a ridurre l'incidenza della lesione del LCA nelle donne.

Uno dei primi di questi lavori (Hewett et al. 1999), datato 1999, ha valutato per una stagione agonistica 1263 atleti/e praticanti pallavolo, pallacanestro e calcio. Di questi 366 atlete hanno partecipato ad un programma specifico di prevenzione delle distorsioni del ginocchio.

Tale programma, pubblicato 3 anni prima sempre dagli stessi Autori (Hewett et al. 1996), indirizzato a rinforzare soprattutto l'atterraggio partendo da una serie di salti eseguiti anche su superfici diverse, aveva comportato, in un gruppo di atlete valutate prima e dopo un allenamento specifico di 6 settimane e confrontate con gruppi di controllo, una riduzione delle forze durante l'atterraggio, un riequilibrio in abduzione e adduzione e riequilibrio delle forze tra ischio e quadricipite. Nel gruppo analizzato nel 1999 da Hewett et al. si verificarono 14 lesioni legamentose, di queste 9 furono non da contatto e l'incidenza di queste 9 fu: 0% nel gruppo con l'allenamento specifico; 0.35% nel gruppo femminile di controllo; 0.05% nel gruppo di controllo maschile. Le atlete con allenamento specifico hanno presentato una incidenza 3.6 volte minore rispetto alle atlete senza allenamento specifico e tale incidenza non differiva dal gruppo di atleti maschi presi come gruppo di controllo.

Un altro lavoro prospettico non randomizzato (Myklebust et al. 2003) ha valutato per tre anni le atlete praticanti la pallamano del campionato di élite norvegese. Il primo anno agonistico (1998-1999) è stato utilizzato come anno di controllo per la frequenza delle lesioni. Le seguenti due stagioni (1999-2000 e 2000-2001), invece, è stato applicato un programma di prevenzione che prevedeva 3 esercizi di equilibrio (combinazione di corsa, salti, agilità, equilibrio enfatizzando la tecnica corretta del gesto tecnico) con 5 livelli di difficoltà. Tali esercizi venivano eseguiti per 15 min. 3 volte a settimana per 5-7 settimane di precampionato, 1 volta a settimana durante il campionato. Durante la stagione di controllo 18 lesioni non da contatto vennero registrate contro le 10 e le 7 dei due anni successivi. La riduzione del rischio di traumi distorsivi al ginocchio calcolata è stata del 48% nel gruppo che aveva utilizzato il programma preventivo.

Una percentuale superiore (82%) di riduzione di rischio, comparata al gruppo di controllo, è stata riportata in un gruppo di atlete praticanti il calcio di età compresa tra i 14 e 18 anni (Mandelbaum et al. 2005). Tale percentuale arriva al 100% nella valutazione da parte di Petersen et al. (2005) in un gruppo di giocatrici di pallamano seguite per un anno con un programma che prevedeva, oltre ai già citati esercizi di forza, agilità ed equilibrio, un programma per incrementare la consapevolezza dell'esecuzione corretta del gesto tecnico dei comuni meccanismi lesionali.

Gilchrist et al. (2008) hanno recentemente condotto una valutazione su 1435 atlete dei college praticanti come sport il calcio. Gli Autori riportano che le atlete che hanno partecipato al programma di prevenzione sono state soggette a 3.3 volte meno la lesione del LCA rispetto alle atlete di controllo.

Un ulteriore recente studio (Lim et al. 2009) ha riscontrato che, in 11 atlete di basket, 20 minuti di allenamento dell'atterraggio (rebound jump task) (programma di allenamento di prevenzione delle lesioni del LCA) eseguiti prima dell'allenamento per 8 settimane, hanno determinato, tra i test prima e dopo il training di ricondizionamento, le seguenti modifiche: maggiore angolo di flessione al ginocchio, maggiore distanza tra le ginocchia, minore rapporto ischio/quadrice, minore forza massimale di estensione del ginocchio, maggiore forza massimale di abduzione del ginocchio. Questi parametri, che prima delle 8 settimane non risultavano significativamente differenti rispetto al gruppo di controllo, dopo l'allenamento specifico raggiungevano la significatività.

Un precedente lavoro (Myer et al. 2007), invece, ha riportato il risultato di un programma di ricondizionamento di 3 sedute per settimana per 7 settimane. Le 18 atlete utilizzate per questo lavoro furono divise in due gruppi in base al momento di forza in abduzione ottenuto durante la ricaduta da un plinto di 31cm di altezza valutato con un esame optoelettronico. Il limite del momento di

forza utilizzato per suddividere il campione è stato di 25.25 Nm come stabilito in un precedente lavoro (Hewett et al. 2005).

Le atlete che presentavano un valore superiore erano incluse nel gruppo di alto rischio, quelle con un valore inferiore erano incluse nel gruppo a basso rischio. Il cambiamento addotto dal training di ricondizionamento all'atterraggio è stato significativo solo per il gruppo ad alto rischio, riducendo di circa il 13% il momento di forza in abduzione del ginocchio bilateralmente.

3.4.2.6 NOSTRO APPROCCIO TERAPEUTICO

Dal nostro punto di vista, quello delle catene muscolo-connettivali, che si stacca dalla singola articolazione per valutare globalmente l'arto inferiore, la possibile iperattivazione della componente muscolare laterale è da collegarsi alla maggiore adduzione-intrarotazione dell'anca. L'ipotesi che l'anca possa influenzare il ginocchio e recitare una parte importante nella lesione del LCA è condivisa da molti Autori (Griffin et al. 2000; Leetun et al. 2004; Myer et al. 2008; Myer et al. 2011A; Myer et al. 2011B; Reiman et al. 2009; Imwalle et al. 2009) che recentemente hanno pubblicato una serie di articoli a riguardo.

Alcuni ricercatori (Ferber et al. 2003; Lephart et al. 2002; McLean et al. 2005B; Kernozek et al. 2008; Lawrence et al. 2008) hanno esaminato l'influenza dell'anca sulla posizione del ginocchio e riportano nella donna, rispetto all'uomo, una maggiore adduzione-intrarotazione dell'anca e un maggiore valgo del ginocchio. La relazione fra minore abduzione dell'anca collegata ad un maggiore valgo del ginocchio durante l'atterraggio, viene messo maggiormente in evidenza dopo affaticamento (Kernozek et al. 2008).

McLean et al. (2005B), esaminando i momenti di forza durante l'esecuzione dello "sidestepping", riscontra un'associazione tra il picco del momento del valgo al ginocchio e l'intrarotazione dell'anca. Gli Autori arrivano alla conclusione che le donne utilizzano un maggior carico in valgo del ginocchio e che la posizione dell'anca può influenzare questi schemi, inoltre, gli interventi indirizzati al miglioramento del controllo neuromuscolare dell'anca possono prevenire la lesione del LCA. Dello stesso avviso sono le conclusioni a cui arrivano altri Autori (Imwalle et al. 2009) valutando i cambi di direzioni di 17 calciatrici con il ginocchio flesso a 45° e 90°.

Un altro recente lavoro (Pollard et al. 2006) ha valutato la cinematica del ginocchio e dell'anca durante esercitazioni di atterraggio in un gruppo di atlete praticanti il calcio. Dopo un test iniziale, le atlete studiate parteciparono ad un programma di prevenzione, programma in precedenza pubblicato (Mandelbaum et al. 2005), durante la stagione agonistica. Al termine della stagione le atlete vennero rivalutate. I dati della seconda valutazione non furono indicativi di un differente angolo del ginocchio durante l'atterraggio, invece, le atlete dimostravano una signifi-

cattiva minore intrarotazione e una maggiore abduzione dell'anca.

Più recentemente (Lawrence et al. 2008) è stata esaminata l'influenza della forza dei muscoli abduttori ed extrarotatori sulla cinematica dell'anca e del ginocchio nelle donne durante l'atterraggio monopodalico. Prima di raccogliere questi dati, venne valutata la forza e degli abduttori ed extrarotatori dell'anca in un gruppo di 72 atlete. Sulla base della forza degli extrarotatori il gruppo testato venne suddiviso in un gruppo con muscoli forti e con muscoli deboli. Il gruppo con extrarotatori forti presentava durante l'atterraggio monopodalico una minore forza di reazione al suolo e un minore momento in valgo del ginocchio. Questi risultati sono indicativi di una preliminare evidenza a riguardo dell'influenza della forza dei muscoli dell'anca sul meccanismo di atterraggio da un salto dell'arto inferiore.

Questi ultimi lavori sono indicativi di un'associazione tra la funzionalità dell'anca e le lesioni del LCA, mediata da un abnorme carico del ginocchio in valgo, per quanto riguarda i traumi non da contatto.

L'anca gestendo il bacino fa da collegamento tra il tronco e il ginocchio. Un completo programma (Myer et al. 2006) di prevenzione ha incorporato esercizi che creano delle perturbazioni dell'equilibrio del tronco in modo da incrementare l'attività di stabilizzazione del bacino (core stability) e diminuire i meccanismi che inducono un elevato carico in abduzione del ginocchio, meccanismo presente soprattutto nel sesso femminile (Zazulak et al. 2005).

In tabella 9 è riportata la progressione delle esercitazioni proposte da questo programma per incrementare la core stability del tronco. Il programma prevede esercitazioni progressive, quali: 1) salto laterale; 2) salto anteriore; 3) stabilità del tronco da prono; 4) stabilità del tronco in ginocchio; 5) salto laterale su un solo arto; 6) salto con piegamento delle ginocchia; 7) allunghi con divaricate anteriori; 8) salto con divaricata anteriore; 9) rinforzo degli ischiocrurali; 10) salto con rotazioni in sospensione; 11) rinforzo dei muscoli laterali del tronco; 12) rinforzo muscoli flessori del tronco; 13) rinforzo muscoli estensori del tronco.

Ognuna di queste esercitazioni prevede una progressione suddivisa in più fasi.

Analizzando la meccanica dell'arto inferiore, durante l'atterraggio da un salto, seguendo un'ottica legata alle catene miofasciali, possiamo identificare la causa eziopatogenetica delle distorsioni del ginocchio come uno squilibrio tra le catene spirali e precisamente come una iperprogrammazione della catena spirale anteriore e/o una ipo programmazione della catena spirale posteriore.

Il protocollo di prevenzione prevede, quindi, il po-

tenziamento della catena spirale posteriore, l'allungamento dell'anteriore e, fondamentale, un ricondizionamento della ricaduta dal salto e durante i cambi bruschi di direzione.

Il potenziamento della spirale posteriore viene eseguito lavorando in modo selettivo sugli abduttori-extrarotatori d'anca e in successione lavorando globalmente sulla catena. È stato riportato in letteratura (McConnell 2002) che una mancanza della "core stability" dell'anca contribuisce all'incremento del carico in valgo del ginocchio e viene consigliato l'allenamento del grande gluteo per ridurre l'intrarotazione del femore durante l'attività in carico dell'arto inferiore. Per lavorare sui muscoli abduttori-extrarotatori si possono utilizzare nella prima fase delle attrezzature specifiche (abductor machine) oppure degli elastici in catena cinetica aperta. A seguire diventa importante l'integrazione in catena cinetica chiusa. Gli esercizi che consigliamo consistono nella estensione dell'arto inferiore in posizione eretta con carico corporeo, oppure con ulteriore impegno associando l'uso di un bilanciere o in alternativa di manubri, con aggiunta di un carico in abduzione indotto da un elastico che spinge in valgo entrambe le ginocchia (fig. 234). Durante questo esercizio viene richiesta una particolare attenzione



Fig. 234 • Esercitazioni di squat con elastici a livello delle ginocchia per indurre una resistenza ai muscoli abduttori che devono essere attivati isometricamente durante la flessione estensione dell'arto inferiore.

alla fase eccentrica (discesa), forzando l'apertura delle ginocchia. La distanza dei piedi deve essere più o meno quanto la distanza delle anche e il ginocchio allineato su una retta che unisce questi due punti.

È importante che il lavoro a secco venga finalizzato all'esecuzione corretta del gesto tecnico. Nella pallanuoto, sport dove abbiamo sviluppato una certa esperienza, essendo la ricaduta dall'attacco (fig. 235) e dal muro i due momenti dove sono presenti i maggiori rischi, è importante che gli allenatori curino adeguatamente la quarta fase della schiacciata: l'atterraggio.

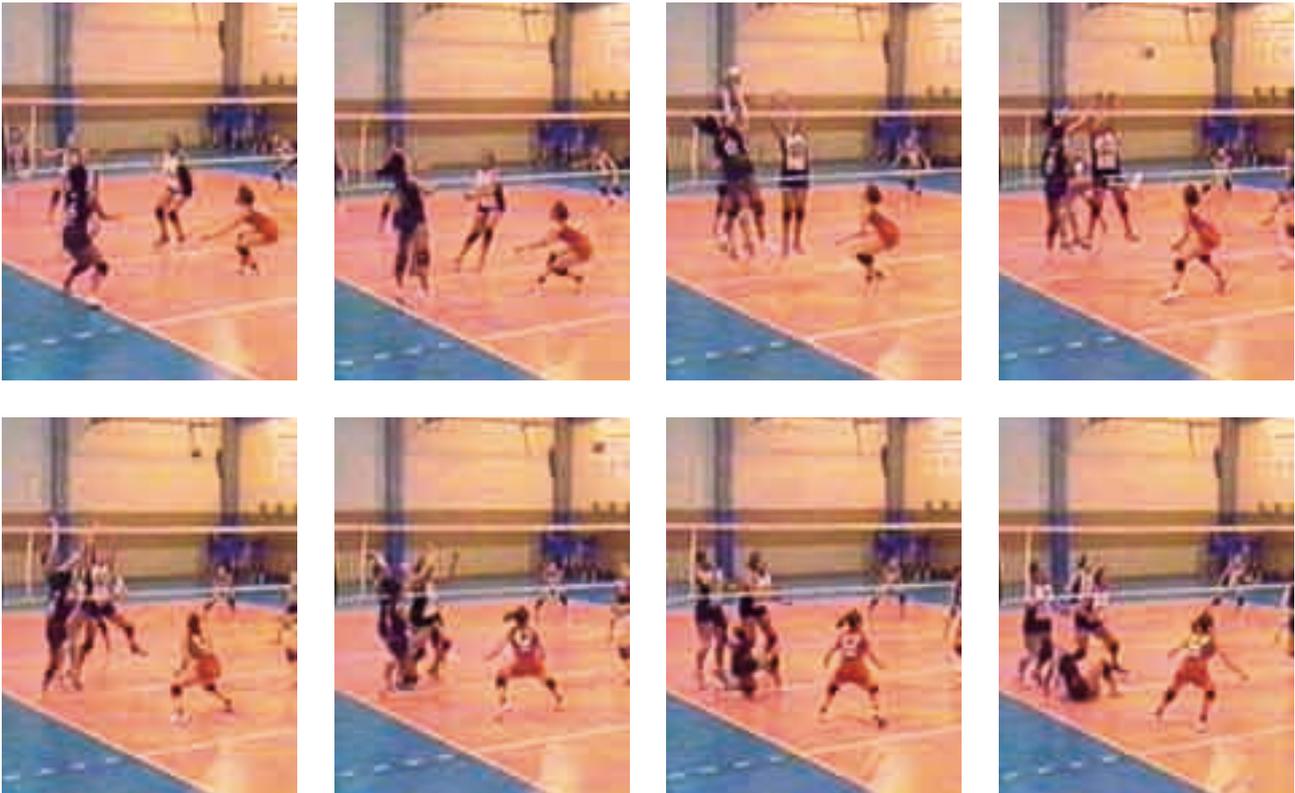


Fig. 235 • Fotogrammi che evidenziano, in una atleta pallavolista, la sequenza di una schiacciata che ha indotto, per trauma discorsivo del ginocchio sinistro durante la ricaduta, la lesione del LCA.

Per la maggior parte dei tecnici esiste solo la rincorsa, la fase di volo e il colpo della palla, dopo di che l'attenzione viene attirata dal risultato della schiacciata o dalla consecutiva difesa e rigiocata. Soffermarsi qualche volta con lo sguardo alla fase finale della schiacciata, tralasciando il risultato dell'attacco, può a volte dare molti elementi non solo in termini di azione di prevenzione ma anche in termini di efficacia dell'attacco. Per fare uno screening sugli atleti che necessitano di un particolare lavoro di prevenzione è sufficiente filmare l'atleta durante una serie di salti a muro consecutivi. L'analisi del movimento effettuata durante l'atterraggio e il successivo salto, eseguita utilizzando due soli piani dello spazio, quindi con una comune videocamera, è risultata abbastanza attendibile, se comparata al 3D, a discernere le atlete che presentano una maggiore valgo dinamico e di conseguenza una predisposizione alla distorsione del ginocchio (McLean et al. 2005). Nelle sequenze di fotogrammi riportati in figura 237 della ricaduta dopo salto a muro di 5 atlete praticanti la pallavolo, si evidenziano le differenti strategie dell'arto inferiore utilizzate. Nel soggetto riportato nella immagine "a" il ginocchio tende al varo; nei soggetti "b" e "c" è presente un buon allineamento tra femore e tibia mantenendo un asse del ginocchio neutro; nei soggetti "d" ed "e" è evidente un accentuato valgo dinamico durante l'atterraggio. Nelle immagini in figura 236a è schematizzato uno scorretto allineamento della tibia e

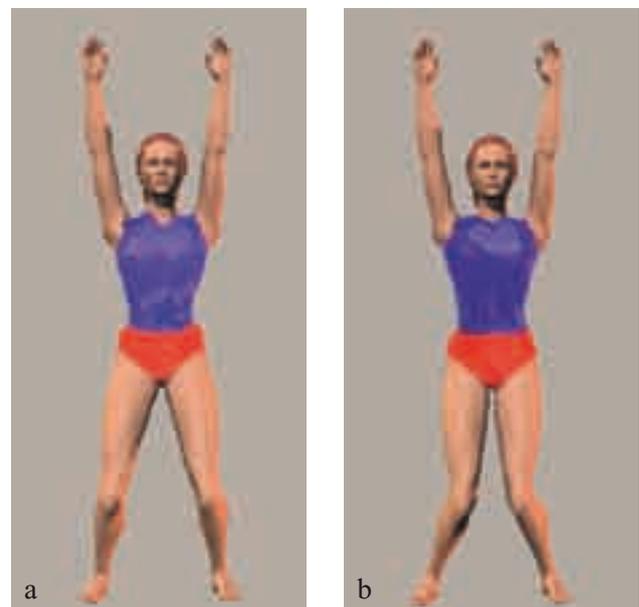


Fig. 236 • Schema di allineamento dell'arto inferiore durante la ricaduta dal salto: a) corretto; b) scorretto.

femore durante l'atterraggio dal muro; in figura 236b un corretto allineamento con una appropriata distanza delle ginocchia.

Come un atleta atterra lo si può indagare indirettamente anche valutando l'impostazione dell'arto inferiore sul piano frontale durante dei semplici saltelli: ad esempio durante l'attesa della ricezione (fig. 238).

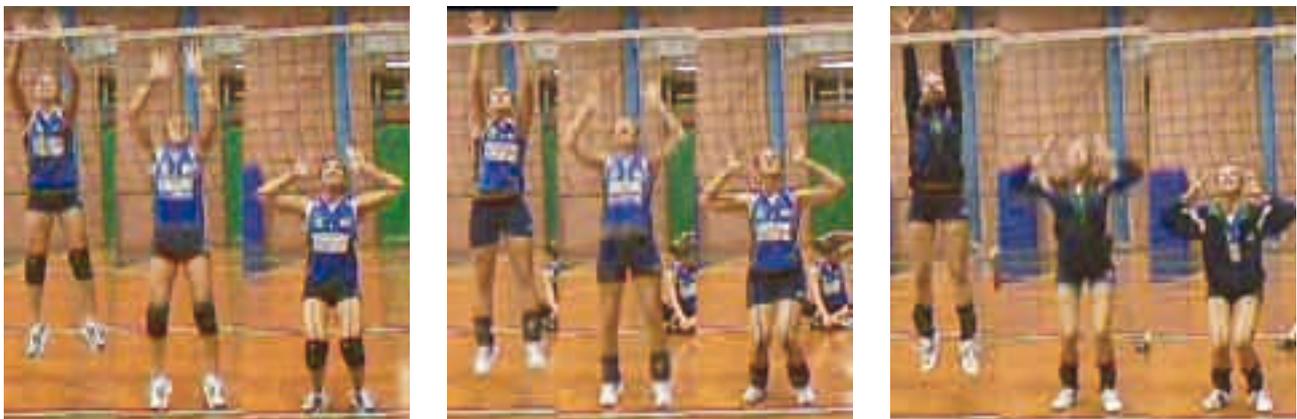


Fig. 237 • Fotogrammi rappresentanti le diverse strategie di atterraggio dopo il salto a muro di 5 atlete praticanti la pallavolo.

Fig. 238 • Sequenza di fotogrammi durante dei saltelli eseguiti prima della ricezione dall'atleta riportata in fig. 235; si evidenzia il valgo dinamico durante la fase di ammortizzazione.



BIBLIOGRAFIA

PATOLOGIA LEGAMENTOSA

- Adler GG, Hoekman RA, Beach DM: Drop leg Lachman test. A new test of anterior knee laxity. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 320-323.
- Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, Samitier G, Romero D, Lázaro-Haro C, Cugat R: Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009 Jul;17(7):705-29.
- Anderson DR, Weiss JA, Takai S, Ohland KJ, Woo SL: Healing of the medial collateral ligament following a triad injury: a biomechanical and histological study of the knee in rabbits. *J Orthop Res.* 1992;10(4):485-95.
- Arendt E, Randall D: Knee Injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med.* 23: 694-701, 1995.
- Arms SW, Pope MH, Johnson, et al.: The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *Am J Sports Med.* 1984; 12: 8-18.
- Audouard M: Osteopatia-L'arto inferiore. Marrapese Editore. Roma 1989.
- Bach BR, Warren RF, Wickiewicz TL: The pivot shift phenomenon: results and description of a modified clinical test for anterior cruciate ligament insufficiency. *Am J Sports Med.* 1988; 16: 571-576.
- Bach BR, Warren RF: Radiographic indicators of anterior cruciate ligament injury. In: Feagin JA: The crucial ligaments. Diagnosis and treatment of ligamentous injuries about the knee. Churchill Livingstone. New York 1988, pp 317-327.
- Barber-Westin SD, Noyes FR, Galloway M: Jump-land characteristics and muscle strength development in young athletes: a gender comparison of 1140 athletes 9 to 17 years of age. *Am J Sports Med.* 2006 Mar;34(3):375-84.
- Barry KP, Mesgarzadeh M, Triolo J, et al.: Accuracy of MRI patterns in evaluating anterior cruciate ligament tears. *Skeletal Radiology.* 1996; 25: 365-370.
- Beckett ME, Massie DL, Bowers KD, et al: Incidence of hyperpronation in the ACL injured knee: a clinical perspective. *J Athl Train.* 1992;27:58-62.
- Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR, et al.: Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1176-81.
- Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR: Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:119-27.
- Bousquet G, Le Béquec P, Girardin P: Le lassità croniche di ginocchio. Fisiologia, fisiopatologia, clinica terapia. Verduci Editore. Roma 1992.
- Brophy RH, Chiaia TA, Maschi R, Dodson CC, Oh LS, Lyman S, Allen AA, Williams RJ: The core and hip in soccer athletes compared by gender. *Int J Sports Med.* 2009 Sep;30(9):663-7.
- Caraffa ACG, Progetti M, Aisa G, et al: Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1996;4:19-21.
- Castagnaro A, Scala A, Gianni E: Il KT 1000 ed il Lachman radiografico. In Puddu G, Cerullo G: La patologia del legamento crociato anteriore: diagnosi e trattamento. Il Pensiero scientifico Editore Roma, 1994, pp. 45-52.
- Chan WP, Lang P, Stevens MP, et al.: Osteoarthritis of the knee: comparison of radiography, CT, and MRI imaging to assess extent and severity. *AJR.* 1991; 157: 799-806.
- Chappell JD, Creighton RA, Giuliani C, Yu B, Garrett WE: Kinematics and electromyography of landing preparation in vertical stop-jump: risks for noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2007;35(2):235-241.
- Cheung Y, Magee TH, Roseberg ZS, et al.: MRI of anterior cruciate ligament reconstruction. *J Comput Assist Tomogr.* 1992; 16: 134-137.
- Chylarecki C, Hierholzer G, Klose R: Sonographic diagnosis of fresh ruptures of the Acl - experimental and clinical-trial. *Unfallchirurg.* 1996; 99: 24-30.
- Cipolla M, Castagnaro A, Selvanetti A, et al.: Il ruolo della radiologia tradizionale. In: Puddu G, Cerullo G: La patologia del legamento crociato anteriore: diagnosi e trattamento. Pensiero Scientifico. Roma 1994, pp 29-44.
- Colonna S: Legamento crociato anteriore: rieducazione funzionale e valutazione dei risultati. Edi-Ermes. Milano 1997.
- Colonna S, Cipolla A: Il bendaggio funzionale dell'arto inferiore. Mediserve. Firenze 1999.
- Cox JS: Symposium: functional rehabilitation of isolated medial collateral ligament sprains. *Injury nomenclature.* *Am J Sports Med.* 1979;7(3):211-3.
- Crues JV III, Mink J, Levely TL, et al.: Meniscal tears of the knee: accuracy of MR imaging. *Radiology.* 1987; 164: 445-448.
- Dahners LE, Mullis BH: Effects of nonsteroidal anti-inflammatory drugs on bone formation and soft-tissue healing. *J Am Acad Orthop Surg.* 2004;12(3):139-43.
- Daniel DM, Malcom LL, Lesse G, et al.: Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg.* 1985A; 67A: 720-726 1985.
- Daniel DM, Stone ML, Barnett P, et al.: Use of the quadriceps active test to diagnose posterior cruciate ligament disruption and measure posterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg.* 1985B; 70A: 720-726.
- De Paulis F, Damiani A, Bonanni G, et al.: La diagnosi per immagini dei punti d'angolo. In: Puddu G, Cerullo G: La patologia del legamento crociato anteriore: diagnosi e trattamento. Pensiero Scientifico. Roma 1994, pp 61-67.
- Dejour H, Walch G, Neyret Ph, et al.: Subluxation active en extension après rupture du ligament croisé antérieur: - inessure radiologique et apport diagnostique. *J Traumatol Sport.* 1989; 6:22-27.
- DeMorat G, Weinhold P, Blackburn T, Chudik S, Garrett W: Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2004;32(2):477-483.
- Dietz GW, Wilcox DM, Montgomery JB: Second tibial condyle fracture: lateral capsular ligament avulsion. *Radiology.* 1986 May;159(2):467-9.
- Donaldson WF, Warren RF, Wickiewicz T: A comparison of acute anterior cruciate ligament examinations. *Am J Sports Med.* 1985; 13: 5-10.
- Ebstrup JF, Bojsen-Møller F: Anterior cruciate ligament injury in indoor ball games. *Scand J Med Sci Sports.* 2000 Apr;10(2):114-6.
- Ellera Gomes JL, Palma HM, Becker R: Radiographic findings in restrained hip joints associated with ACL rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010 Nov;18(11):1562-7.
- Ellsasser JC, Reynolds FC, Omohundro JR: The non-operative treatment of collateral ligament injuries of the knee in professional football players. An analysis of seventy-four injuries treated non-operatively and twenty-four injuries treated surgically. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(6):1185-90.
- Engelbretsen L, Arendt E, Fritts HM: Osteochondral lesions and cruciate ligament injuries: MRI in 18 knee. *Acta Orthop Scand.* 1993; 64: 434 - 436.
- Ettlinger CF, Johnson RJ, Shealy JE: A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 531-537.
- Ettlinger DFJR, Shealy JE: A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *Am J Sports Med.* 1995;23:531-7.
- Falciglia F, Mastantuoni G, Guzzanti V: Second fracture with anterior cruciate ligament tear in an adolescent. *J Orthop Traumatol.* 2008 Sep;9(3):167-9.

- Feagin JA, Cooke TDV: Prone examination for anterior cruciate ligament insufficiency *J Bone Joint Surg.* 7113: 863, 1989.
- Feagin JA, Lambert KL, Cunningham RR, et al: Consideration of the anterior cruciate ligament injury in skiing. *Clin Orthop.* 216: 13-18, 1987.
- Ferber R, Davis IM, Williams DS 3rd: Gender differences in lower extremity mechanics during running. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(4):350-7.
- Fetto JF, Marshall JL: Medial collateral ligament injuries of the knee: a rationale for treatment. *Clin Orthop.* 1978;132:206-18.
- Ficat RP, Philippe J, Hungerford DS: Chondromalacia patellae: a system of classification. *Clin Orthop.* 1979; 144: 55-62.
- Ford KR, Myer GD, Smith RL, Vianello RM, Seiwert SL, Hewett TE: A comparison of dynamic coronal plane excursion between matched male and female athletes when performing single leg landings. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2006 Jan;21(1):33-40.
- Franco V, Gianni E, Selvanetti A: La diagnosi clinica. In: Puddu G, Cerullo G: La patologia del legamento crociato anteriore: diagnosi e trattamento. Il Pensiero scientifico Editore. Roma, pp 21-28, 1994.
- Frank C: Accurate interpretation of the Lachman test. *Clin Orthop.* 1986; 213: 163-166.
- Friedman RL, Jackson DW: Magnetic-Resonance Imaging of the anterior cruciate ligament. *Current Concepts. Orthopedics.* 1996; 19: 525-532.
- Fukubayashi T, Torzilli PA, Sherman MF, Warren RF: An in vitro biomechanical evaluation of anterior - posterior motion of the knee. *J Bone Joint Surg.* 1982; 64A: 258-264.
- Fung DT, Zhang LQ: Modeling of ACL impingement against the intercondylar notch. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(10):933-41.
- Galway RD, Beauprè A, McIntosh DL: Pivot shift: a clinical sign of systematic anterior cruciate ligament insufficiency. *J Bone Joint Surg.* 1972; 5413: 763-764.
- Galway RD, McIntosh DL: The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop.* 1980; 147: 45-50.
- Gardiner JC, Weiss JA, Rosenberg TD: Strain in the human medial collateral ligament during valgus loading of the knee. *Clin Orthop.* 2001;(391):266-74.
- Gardiner JC, Weiss JA: Subject-specific finite element analysis of the human medial collateral ligament during valgus knee loading. *J Orthop Res.* 2003;21(6):1098-106.
- Gentili A, Seeger LL, Yao L, et al.: Anterior cruciate ligament tear-indirect signs at MR-imaging. *Radiology.* 1994; 193: 835-840.
- Gilchrist JR, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Griffin LY, Silvers HJ, Watanabe DS, Dick RW: A Randomized Controlled Trial to Prevent Non-Contact ACL Injury in Female Collegiate Soccer Players. Presented at the American Orthopaedic Society for Sports Medicine in San Francisco, CA 2004.
- Glashow JL, Katz R, Schneider M, et al.: Double blind assessment of the value of magnetic resonance imaging in the diagnosis of anterior cruciate ligament and meniscal lesions. *J Bone Joint Surg.* 1989; 71A: 113-119.
- Goodfellow J, Hungerford DS, Woods C: Patellofemoral joint mechanics and pathology. Part II. Condromalacia patellae. *J Bone Joint Surg.* 1976; 58 13: 291-299, 1976.
- Graf BK, Cook DA, DE Smet AA, et al.: "Bone bruises" on magnetic resonance imaging evaluation of anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports med.* 1993; 21: 220-223.
- Gray J, Taunton JE, McKenzie DC, Clement DB, McConkey JP, Davidson RG: A survey of injuries to the anterior cruciate ligament of the knee in female basketball players. *Int J Sports Med.* 1985 Dec;6(6):314-6.
- Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, et al.: Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Accad Orthop Surg.* 2000;8(3):141-150.
- Griffin LY, Albohm MJ, Arendt EA, et al.: Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. *Am J Sports Med.* 2006;34(9):1512-1532.
- Grindstaff TL, Hammill RR; Tuzson AE; Hertel J: Neuromuscular Control Training Programs and Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Rates in Female Athletes: A Numbers-Needed-to-Treat Analysis. *Journal of Athletic Training.* 2006;41(4):450-456.
- Grontvedt T, Engebretsen L, Rossvoll I, et al.: Comparison between magnetic resonance imaging findings and knee stability: measurements after anterior cruciate ligament repair with and without augmentation. A five-to seven-year follow up of 52 patients. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 729-735.
- Grood ES, Noyes FR, Butler DL, Suntay WJ: Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. *J Bone Joint Surg (Am).* 1981; 63(8):1257-69.
- Hägglund M, Waldén M, Atroshi I: Preventing knee injuries in adolescent female football players - design of a cluster randomized controlled trial [NCT00894595]. *BMC Musculoskeletal Disord.* 2009 Jun 23;10:75.
- Hame SL, Oakes DA, Markolf KL: Injury to the anterior cruciate ligament during alpine skiing: a biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle. *Am J Sports Med.* 2002 Jul-Aug;30(4):537-40.
- Haycock CE, Gillette JV: Susceptibility of women athletes to injury. Myths vs reality. *JAMA.* 1976 12;236(2):163-5.
- Hayes CW, Brigido MK, Jamadar DA, Propeck T: Mechanism-based pattern approach to classification of complex injuries of the knee depicted at MR imaging. *Radiographics.* 2000 Oct;20 Spec No:S121-34.
- Heidt RS Jr., Sweeterman LM, Carlonas RL, Traub JA, Tekulve FX: Avoidance of soccer injuries with preseason conditioning. *Am J Sports Med.* 2000, 28(5):659-662.
- Henning CE, Lynch MA, Click KR: An in vivo strain gage study of elongation of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 1985; 13: 22-26.
- Hertel J, Dorfman JH, Braham RA: Lower extremity malalignments and anterior cruciate ligament injury history. *J Sci Med Sport.* 2004;3:220-225.
- Hewett TE, Ford KR, Myer GD: Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med.* 2006B, 34(3):490-498.
- Hewett TE, Lindenfeld TN, Riccobene JV, Noyes FR: The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1999;27(6):699-706.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS Jr, Colosimo AJ, McLean SG, van den Bogert AJ, Paterno MV, Succop P: Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492-501.
- Hewett TE, Myer GD, Ford KR: Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med.* 2006A; 34(2):299-311.
- Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR: Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med.* 1996;24(6):765-73.
- Hewett TE, Torg JS, Boden BP: Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *Br J Sports Med.* 2009 Jun;43(6):417-22.
- Hewson GI, Mendini RA, Wang JB: Prophylactic knee bracing in college football. *Am J Sport Med* 14: 262-266, 1986.
- Hoppenfeld S: Physical examination of the spine and extremities. Appleton-Century - Crofts, New York 1976.

- Huang G-S, Yu JS, Munshi M, Chan WP, Lee C-H, Chen C-Y, Resnick D: Avulsion Fracture of the Head of the Fibula (the "Arcuate" Sign): MR Imaging Findings Predictive of Injuries to the Posterolateral Ligaments and Posterior Cruciate Ligament. *AJR*. 2003;180:381-387.
- Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, Moschi A: Classification of knee ligaments instabilities. Part I. The medial compartment and cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg*. 1976; 58A: 159-172.
- Hughston JC: The importance of the posterior oblique ligament in repairs of acute tears of the medial ligaments in knees with and without an associated rupture of the anterior cruciate ligament. Results of long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am*. 1994;76(9):1328-44.
- Ihara H, Miwa M, Deya K, et al: MRI of Anterior Cruciate Ligament Healing. *J Comp Ass Tomography*. 1996; 20: 317-321.
- Imwalle LE, Myer GD, Ford KR, Hewett TE: Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers: a possible link to noncontact anterior cruciate ligament injury and prevention. *J Strength Cond Res*. 2009 Nov;23(8):2223-30.
- Indelicato P, Linton R: Medial ligament injuries in the adult, in DeLee & Drez's Orthopaedic Sports Medicine, J. DeLee, J. D Drez, and M. Miller, Editors. 2003, Saunders: Philadelphia, PA. 1938-1949.
- Indelicato PA, Hermansdorfer J, Huegel M: Nonoperative management of complete tears of the medial collateral ligament of the knee in intercollegiate football players. *Clin Orthop*. 1990;256:174-7.
- Indelicato PA: Isolated medial collateral ligament injuries in the knee. *J Am Acad Orthop Surg*. 1995;3(1):9-14.
- Insall JN, Falvo KA, Wise DW: Chondromalacia patellae: a prospective study. *J Bone Joint Surg*. 1976; 58A: 1-8.
- Ireland ML: Anterior cruciate ligament injury in female athletes: epidemiology. *J Athl Train*. 1999;34(2):150-4.
- Iversen BF, Stiirup J, Jacobsen K, Andersen J: Implication of muscular defense in testing for the anterior drawer sign in the knee. A stress radiographic investigation. *Am J Sports Med*. 1989; 17: 409-413.
- Jacobs CA, Uhl TL, Mattacola CG, Shapiro R, Rayens WS: Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. *J Athl Train*. 2007 Jan-Mar;42(1):76-83.
- Jagodzinski M, Richter GM, Pässler HH: Biomechanical analysis of knee hyperextension and of the impingement of the anterior cruciate ligament: a cinematographic MRI study with impact on tibial tunnel positioning in anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2000;8(1):11-9.
- Jakob RP, Staubli HU, Deland JT: Grading the pivot shift. *J Bone Joint Surg*. 1987; 69(3): 294-299.
- Jan-Mar;42(1):76-83 Jacobsen K: Stress radiographical measurement of the anteroposterior, medial and lateral stability of the knee joint. *Acta Orthop Scand*. 1976;47(3):335-4.
- Järvinen M, Natri A, Laurila S, et al.: Mechanisms of anterior cruciate ligament ruptures in skiing. *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthroscopy*. 1994; 2: 224-228.
- Johnson RJ, Ettliger CF, Shealy JE: Skier Injury Trends-1972 to 1990. In Johnson R, Mote C: Skiing trauma and safety. Ninth International Symposium, ASTM STP 1182. Philadelphia, American Society for Testing and Materials. 1993 pp. 11-22.
- Johnson SC: Anterior cruciate ligament injury in elite alpine competitors. *Med Sci Sport Exercise*. 1995; 27: 323-327.
- Jonsson T, Althoff B, Peterson L, Restrom P: Clinical diagnosis of ruptures of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*. 1982; 10: 100-102.
- Kaplan PA, Walker CW, Kilcoyne RF, et al.: Occult fracture patterns of the knee associated with anterior cruciate ligament tears: assessment with MR imaging: *Radiology*. 1992; 183: 835-838.
- Katz JW, Fingerhuth RJ: The anterior accuracy of ruptures of the anterior cruciate ligament comparing the Lachman test, the anterior drawer sign, and the pivotshift test in acute and chronic knee injuries. *Am J Sports Med*. 1986; 14: 88-91.
- Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB, Danylchuck KD: Tension studies of human knee ligaments. Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *J Bone Joint Surg Am*. 1976 Apr;58(3):350-5.
- Kernozek TW, Torry MR, H Van Hoof H, Cowley H, Tanner S: Gender differences in frontal and sagittal plane biomechanics during drop landings. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(6):1003-1013.
- Kernozek TW, Torry MR, Iwasaki M: Gender differences in lower extremity landing mechanics caused by neuromuscular fatigue. *Am J Sports Med*. 2008 Mar;36(3):554-65.
- Kim SJ, Kim HK: Reliability of the anterior drawer Test, the pivot shift test, and the lachman test. *Clin Orthop Related Res*. 1995; 317: 237-242.
- King JB: An alternative to Lachman. *Am J Sports Med*. 1989; 17: 701.
- Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R, Krosshaug T: Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med*. 2010;38(11):2218-25.
- Kong KC, Hamlet MR, Peckham T: Displaced bucket-handle tears of the medial meniscus in asking anterior cruciate deficiency. *Arch Orthop Traum Surg*. 1994; 114: 51-52.
- Kurimura M, Matsumoto H, Fujikawa K, Toyama Y: Factors for the presence of anteromedial rotatory instability of the knee. *J Orthop Sci*. 2004;9(4):380-5.
- Lane JG, Irby SE, Kaufman K, et al: The anterior cruciate ligament in controlling axial rotation. *Am J Sports Med*. 1994; 22:289-293.
- Larson RL: Physical examination in the diagnosis of rotatory instability. *Clin Orthop*. 1983; 172: 38-44.
- Lawrance JAL, Ostlere SJ, Dodd CAF: MRI diagnosis of partial tears of the anterior cruciate ligament. *Injury. International Journal of the Care of the Injured*. 1996; 27: 153-155.
- Lawrence RK 3rd, Kernozek TW, Miller EJ, Torry MR, Reuteman P: Influences of hip external rotation strength on knee mechanics during single-leg drop landings in females. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008;23(6):806-13.
- Leetun DT, Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT, Davis IM: Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2004 Jun;36(6):926-34.
- Lephart SM, Ferris CM, Riemann BL, Myers JB, Fu FH: Gender differences in strength and lower extremity kinematics during landing. *Clin Orthop Relat Res*. 2002 Aug;(401):162-9.
- Li G, Rudy TW, Sakane M, Kanamori A, Ma CB, Woo SLY: The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. *J Biomech*. 1999;32(4): 395-400.
- Lim BO, Lee YS, Kim JG, An KO, Yoo J, Kwon YH: Effects of sports injury prevention training on the biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament injury in high school female basketball players. *Am J Sports Med*. 2009;37(9):1728-34.
- Lindenfeld TN, Schmitt DJ, Hendy MP, et al.: Incidence of injury in indoor soccer. *Am J Sports Med*. 22: 364-371, 1994.
- Lloyd DG, Buchanan TS, Besier TF: Neuromuscular biomechanical modeling to understand knee ligament loading. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(11):1939-1947.
- Lloyd DG, Buchanan TS: Strategies of muscular support of varus and valgus loads at the human knee. *J Biomech*. 2001;34(10):1257-1267.
- Lohmander LSOA, Englund M, Roos H: High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum*. 2004;50:3145-52.

- Lorentzon R, Wedren H, Pietila T: Incidence, nature, and causes of ice hockey injuries. A three-year prospective study of a Swedish elite ice hockey team. *Am J Sports Med.* 1988; 16(4):392-6.
- Losee RE, Johnson TR, Southwick WO: Anterior sub-luxation of the lateral tibial plateau. *J Bone Joint Surg.* 1978; 60A: 1015-1030.
- Loudon JK, Jenkins W, Loudon KL: The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;24:91-97.
- Lysholm J, Gillquist J: Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med.* 1982; 10: 150-154.
- Malcom LL, Daniel DM, Stone ML, et al.: The measurement of anterior knee laxity after ALC reconstructive surgery. *Clin Orthop.* 1985; 186: 35-41.
- Malinzak RACS, Kirkendall DT, Yu B, et al: A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2001;16:438-45.
- Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS, et al.: Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2005;33:1003-1010.
- Markoff KL, Mensch JS, Amstutz HC: Stiffness and laxity of the knee: the contribution of the supporting structures. *J Bone Joint Surg.* 1976; 58A: 583-593.
- Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, Shepard MF, Finerman GA, Slauterbeck JL: Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res.* 1995;13(6):930-5.
- Markolf KL, O'Neil G, Jackson SR, McAllister DR: Effects of applied quadriceps and hamstrings muscle loads on forces in the anterior and posterior cruciate ligaments. *Am J Sports Med.* 2004;32(5):1144-1149.
- Marshall JL, Fette JF, Bolero PM: Knee ligament injury. A standardized evaluation method. *Clin Orthop.* 1977; 123: 129.
- Masciocchi C, Barile A, Fascetti E: La diagnosi per immagine del legamento crociato anteriore. In: Puddu G, Cerullo G: *La patologia del legamento crociato anteriore: diagnosi e trattamento.* Pensiero Scientifico. Roma 1994, pp 53-60.
- Maywood RM, Murphy BJ, Uribe JW, et al.: Evaluation of arthroscopy anterior cruciate ligament reconstruction using magnetic resonance imaging. *Am J Sports Med.* 1993; 21: 523-527.
- McConnell J: The physical therapist's approach to patellofemoral disorders. *Clin Sports Med.* 2002 Jul;21(3):363-87.
- McLean SG, Walker K, Ford KR, Myer GD, Hewett TE, van den Bogert AJ: Evaluation of a two dimensional analysis method as a screening and evaluation tool for anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med.* 2005;39:355-362.
- McLean SG, Fellin RE, Suedekum N, Calabrese G, Passeralo A, Joy S: Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(3):502-514.
- McLean SG, Huang X, Su A, van den Bogert AJ: Sagittal plane biomechanics cannot injure the ACL during sidestep cutting. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2004;19(8):828-838.
- McLean SG, Huang X, van den Bogert AJ: Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: implications for ACL injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2005B;20(8):863-870.
- McLean SG, Walker KB, van den Bogert AJ: Effect of gender on lower extremity kinematics during rapid direction changes: an integrated analysis of three sports movements. *J Sci Med Sport.* 2005A;8(4):411-422.
- McQuade KJ, Crutcher JP, Sidles JA, et al: Tibial rotation in anterior cruciate deficient knees: an in vitro study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1989; 11: 146-149.
- Mitchell LC, Ford KR, Minning S, Myer GD, Mangine RE, Hewett TE: Medial foot loading on ankle and knee biomechanics. *N Am J Sports Phys Ther.* 2008 Aug 1;3(3):133-140.
- Miyasaka KC, Daniel DM, Stone ML, Hirshman P: The incidence of knee ligament injuries in the general population. *Am J Knee Surg.* 1991;4: 3-8.
- Muller W: *Il ginocchio: forma, funzioni e trattamento delle lesioni legamentose.* Ghedini. Milano 1986.
- Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE: Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2007; 8:39.
- Myer GD, Chu DA, Brent JL, Hewett TE: Trunk and hip control neuromuscular training for the prevention of knee joint injury. *Clin Sports Med.* 2008 Jul;27(3):425-48.
- Myer GD, Ford KR, Hewett TE. New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. *Br J Sports Med.* 2011A Apr;45(4):238-44.
- Myer GD, Ford KR, Hewett TE. The effects of gender on quadriceps muscle activation strategies during a maneuver that mimics a high ACL injury risk position. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15(2): 181-189.
- Myer GD, Ford KR, Khoury J, Succop P, Hewett TE. Biomechanics laboratory-based prediction algorithm to identify female athletes with high knee loads that increase risk of ACL injury. *Br J Sports Med.* 2011B Apr;45(4):245-52.
- Myer GD, Ford KR, Khoury J, Succop P, Hewett TE. Clinical correlates to laboratory measures for use in non-contact anterior cruciate ligament injury risk prediction algorithm. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2010B Aug;25(7):693-9.
- Myer GD, Ford KR, Khoury J, Succop P, Hewett TE. Development and validation of a clinic-based prediction tool to identify female athletes at high risk for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2010A Oct;38(10):2025-33.
- Myer GD, Ford KR, McLean SG, Hewett TE: The Effects of Plyometric Versus Dynamic Stabilization and Balance Training on Lower Extremity Biomechanics. *Am J Sports Med.* 2006;34(3):490-498.
- Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, Skjølberg A, Olsen OE, Bahr R: Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med.* 2003, 13(2):71-78.
- Myklebust GMS, Holm I, Bahr R: A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports.* 1998;8:149-53.
- Nakamura N, Horibe S, Toritsuka Y, Mitsuoka T, Yoshikawa H, Shino K: Acute grade III medial collateral ligament injury of the knee associated with anterior cruciate ligament tear. The usefulness of magnetic resonance imaging in determining a treatment regimen. *Am J Sports Med.* 2003 Mar-Apr;31(2):261-7.
- Neptune RR, Wright IC, van den Bogert AJ: Muscle coordination and function during cutting movements. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:294-302.
- Nielsen AB, Yde J: Epidemiology of acute knee injuries: a prospective hospital investigation. *J Trauma.* 31: 1644-1648, 1991.
- Noyes FR, Barber-Westing SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J: The drop-jump screening test. Difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med.* 2005; 33 (2); 197-207.
- Noyes FR, Bassett RW, Grood ES, et al.: Arthroscopy in acute traumatic hemarthrosis of the knee. *J Bone J Surg.* 1980; 62A: 687-695.
- Noyes FR, Grood ES, Butler DL, et al: Clinical laxity tests and functional stability of knee: biomechanical concepts. *Clin Orthop Rel Res.* 1980; 146: 84-89.
- Noyes FR, Mooar PA, Matthews DS, et al.: The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part I. the long-term functional disability in athletically active individuals. *J Bone Joint Surg.* 1983; 65A: 154-162.

- Noyes FR, Stabler CL: A system for grading articular cartilage lesion at arthroscopy. *Am J Sports Med.* 1989; 17: 505-513.
- O'Donoghue DH: Surgical treatment of fresh injuries to the major ligaments of the knee. *Clin Orthop.* 1991;(271):3-8.
- O'Brien SJ, Warren RF, Pavlov H, et al.: Reconstruction of the Chronically insufficient anterior cruciate ligament with the central third of the patellar ligament. *J Bone Joint Surg.* 1991; 73A: 278-286.
- Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R: Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med.* 2004;32(4):1002-12.
- Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R: Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ.* 2005 Feb 26;330(7489):449.
- Onate JA, Guskiewicz KM, Sullivan RJ: Augmented feedback reduces jump landing forces. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001 Sep;31(9):511-7.
- Palmieri-Smith RM, McLean SG, Ashton-Miller JA, Wojtys EM: Association of quadriceps and hamstrings cocontraction patterns with knee joint loading. *J Athl Train.* 2009;44(3):256-63.
- Palmieri-Smith RM, Wojtys EM, Ashton-Miller JA: Association between preparatory muscle activation and peak valgus knee angle. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008 Dec;18(6):973-9.
- Pandy MG, Shelburne KB: Dependence of cruciate-ligament loading on muscle forces and external load. *J Biomech.* 1997;30(10): 1015-1024.
- Pavlov H, Warren RF, Sherman ME, et al.: The accuracy of double-contrast arthrographic evaluation of the anterior cruciate ligament. A retrospective review of 163 knees with surgical confirmation. *J Bone Joint Surg.* 1983; 65A: 175-183.
- Petermann J, Trus P, Kunnecke M, et al: The pivot shift test with Hip position and rotation of the lower Leg. *A Clinical Analysis.* *Unfallchirurg.* 1996; 99: 191-195.
- Petermann J, von Garrel T, Gotzen L: Non-operative treatment of acute medial collateral ligament lesions of the knee joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993;1(2):93-6.
- Petersen W, Braun C, Bock W, Schmidt K, Weimann A, Drescher W, Eiling E, Stange R, Fuchs T, Hedderich J, Zantop T: A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125: 614-621.
- Peterson L, Junge A, Chomiak J, Graf-Baumann T, Dvorak J: Incidence of football injuries and complaints in different age groups and skill-level groups. *Am J Sports Med.* 2000. 28(5 Suppl):S51-7.
- Pfrringer W, Beck N, Smasal V: Conservative therapy of ruptures of the medial collateral ligament of the knee. Results of a comparative follow-up study. *Sportverletz Sportschaden.* 1993;7(1):3-7.
- Pollard CD, Sigward SM, Ota S, Langford K, Powers CM: The influence of in-season injury prevention training on lower-extremity kinematics during landing in female soccer players. *Clin J Sport Med.* 2006 May;16(3):223-7.
- Pope MH, Johnson RJ, Brown DW, Tighe C: The role of the musculature in injuries to the medial collateral ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1979 Apr;61(3):398-402.
- Pressman A, Johnson DH: A review of ski injuries resulting in combined injury to the anterior cruciate ligament and medial collateral ligaments. *Arthroscopy.* 2003;19(2):194-202.
- Quatman CE, Hewett TE: The anterior cruciate ligament injury controversy: is "valgus collapse" a sex-specific mechanism? *Br J Sports Med.* 2009 May;43(5):328-35.
- Reider B, Sathy MR, Talkington J, Blyznak N, Kollias S: Treatment of isolated medial collateral ligament injuries in athletes with early functional rehabilitation. A five-year follow-up study. *Am J Sports Med.* 1994 Jul-Aug;22(4):470-7.
- Reiman MP, Bolgla LA, Lorenz D: Hip functions influence on knee dysfunction: a proximal link to a distal problem. *J Sport Rehabil.* 2009 Feb;18(1):33-46.
- Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynon B, Fukubayashi T, Garrett W, Georgoulis T, Hewett TE, Johnson R, Krosshaug T, Mandelbaum B, Micheli L, Myklebust G, Roos E, Roos H, Schamasch P, Shultz S, Werner S, Wojtys E: Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med.* 2008 Jun;42(6):394-412.
- Reuben JD, Rovick JS, Schrage RJ, et al.: Three dimensional dynamic motion analysis of the anterior cruciate ligament deficient knee joint. *Am J Sports Med.* 1989; 17: 463-471.
- Rijke AM, Perrin DH, Goitz HT, et al.: Graded stress radiography of injured cruciate ligaments. *Invest Radiol.* 1991; 26: 926-933.
- Robinson JR, Bull AM, Amis AA: Structural properties of the medial collateral ligament complex of the human knee. *J Biomech.* 2005;38(5):1067-74.
- Roseberg TD, Rasmussen GL: The function of anterior cruciate ligaments during anterior drawer and Lachman's testing. *Am J Sports Med.* 1984; 12: 318-321.
- Rozzi SL, Lephart SM, Gear WS, Fu FH: Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *Am J Sports Med.* 1999;27(3):312-319.
- Sahrmann SA: Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes. Mosby. St. Louis 2002.
- Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K: Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2005 Aug;21(8):948-57.
- Schils JP, Resnick D, Sartoris DJ: Diagnostic Imaging of ligamentous injuries of the knee. In: Daniel D, Akenson W, O'Connor J: Knee ligaments. Structure, function, injury, and repair. Raven Press. New York 1990.
- Schmitz RJ, Shultz SJ, Nguyen AD: Dynamic valgus alignment and functional strength in males and females during maturation. *J Athl Train.* 2009; 44(1):26-32.
- Segond P: Recherches cliniques et expe épanchements sanguins du genou par entorse. *Progrès Méd.* 1979; 7:297-299.
- Seitz HMS, Wielke T, Vecsei V: Meniscus lesions after isolated anterior cruciate ligament rupture. *Wien Klin Wochenschr.* 1996;108:727-30.
- Senter C, Hame SL: Biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle: implications for understanding knee injury. *Sports Med.* 2006;36(8):635-41.
- Shelbourne KDDT, Llootwyk T: The relationship between notch width and the risk for anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med.* 1986;26:402-8.
- Shimokochi Y, Yong Lee S, Shultz SJ, Schmitz RJ: The relationships among sagittal-plane lower extremity moments: implications for landing strategy in anterior cruciate ligament injury prevention. *J Athl Train.* 2009 Jan-Feb;44(1):33-8.
- Shindell R, Walsh WM, Connolly JF: Avulsion fracture of the fibula: the "arcuate sign" of posterolateral knee instability. *Nebra Med J.* 1984;69:369-371.
- Shino K, Inoue S, Horibe S, Nakamura H, Ono K: Measurement of anterior instability of knee. A new apparatus for clinical testing. *J Bone Joint Surg.* 1987; 69(13): 608-613.
- Shoemaker SC, Markolf KL: Effects of joint load on the stiffness and laxity of ligament-deficient knees. *J Bone Joint Surg.* 1985; 67A: 136-146.
- Shultz SJ, Schmitz RJ: Effects of transverse and frontal plane knee laxity on hip and knee neuromechanics during drop landings. *Am J Sports Med.* 2009 Sep;37(9):1821-30.
- Shultz SJ: ACL Injury in the Female Athlete: A Multifactorial Problem That Remains Poorly Understood. *Journal of Athletic Training.* 2008; 43(5):455.
- Silvers HJ, Mandelbaum BR. Preseason conditioning to prevent soccer injuries in young women. *Clin J Sport Med.* 2001;11:206.

- Silvers HJ, Mandelbaum BR: Prevention of anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *Br J Sports Med.* 2007;41(Suppl 1):i52-i59.
- Sims WF, Jacobson KE: The posteromedial corner of the knee: Medial-sided injury patterns revisited. *Am J Sports Med.* 2004;32(2):337-45.
- Slocum DB, James SL, Larson RL, Singer KM: Clinical test for anterolateral rotatory instability of the knee. *Clin Orthop.* 1976; 118: 63-69.
- Soderman K, Werner S, Pietila T, Engstrom B, Alfredson H: Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000, 8(6):356-363.
- Speer KP, Spritzer CE, Bassett FH 3rd, Feagin JA Jr, Garrett WE Jr: Osseous injury associated with acute tears of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 1992 Jul-Aug;20(4):382-9.
- Spindler KP, Schils JP, Bergfeld JA, et al.: Prospective study of osseous, articular, and meniscal lesions in recent anterior cruciate ligament tears by magnetic resonance imaging and arthroscopy. *Am J Sports Med.* 1993; 21: 551-557.
- Stiell IG, Wells GA, McDowell I, Greenberg GH, McKnight RD, Cwinn AA, Quinn JV, Yeats A.: Use of radiography in acute knee injuries: need for clinical decision rules. *Acad Emerg Med.* 1995;2(11):966-73.
- Swärd P, Kostogiannis I, Roos H: Risk factors for a contralateral anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010 Mar;18(3):277-91.
- Terry GC, Hughston JC, Norwood LA: The anatomy of the ilio-patellar band and iliotibial tract. *Am J Sports Med.* 1986; 14: 39-45.
- Tipton CM, James SL, Mergner W, Tchong TK: Influence of exercise on strength of medial collateral knee ligaments of dogs. *Am J Physiol.* 1970 Mar;218(3):894-902.
- Torg JS, Conrad W, Kalen V: Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med.* 1976; 4: 84-92.
- Vellet AD, Marks PH, Fowler PJ, et al.: Occult posttraumatic osteochondral lesions of the knee: prevalence, classification, and short-term sequelae evaluated with MR imaging. *Radio-logy.* 1991; 178: 271-276.
- Warne WJ, Feagin JA Jr, King P, Lambert KL, Cunningham RR: Ski injury statistics, 1982 to 1993, Jackson Hole Ski Resort. *Am J Sports Med.* 1995 Sep-Oct;23(5):597-600.
- Weiss JR, Irrgang JJ, Sawhney R, Dearwater S, Fu FH: A functional assessment of anterior cruciate ligament deficiency in an acute and clinical setting. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1990; 11: 372-373.
- White BF, Brown DG, Johnson RJ: In vivo laxity testing of the knee. Anterior displacement test. Transactions of the 25th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society. 4: 255, San Francisco, California: february 20-22, 1979.
- Whiteside PA: Men's and women's injuries in comparable sport. *Physician Sportmed.* 1980; 8 (3): 130-140.
- Wilson TC, Satterfield WH, Johnson DL: Medial collateral ligament "tibial" injuries: indication for acute repair. *Orthopedics.* 2004;27(4):389-93.
- Withrow TJ, Huston LJ, Wojtys EM, Ashton-Miller JA: Valgus loading causes increased ACL strain in vitro in simulated jump landing. Paper presented at: 51st annual meeting of the Orthopaedic Research Society. February 23-28, 2005; Washington, DC.
- Wojtys EMHL, Lindendorf TN, Hewett TE, et al: Association between the menstrual cycle and anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *Am J Sports Med.* 1998;26:614-19.
- Woo S. The response of ligaments to injury: Healing of the collateral ligaments, in *Knee Ligaments: Structure, Function, Injury, and Repair.* D. DM, A. WH, and O.C. JJ, Editors. 1990, Raven Press: New York. 351-364.
- Woo SL, Vogrin TM, Abramowitch SD: Healing and repair of ligament injuries in the knee. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000;8(6):364-72.
- Woodford-Rogers B, Cyphert L, Denegar CR: Risk factors for anterior cruciate ligament injury in high school and college athletes. *J Athl Train.* 1994;29:343-346.
- Wroble RR, Grood ES, Cummings JS, et al.: The role of the lateral extraarticular restraints in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med.* 1993; 21: 257-263.
- Yamato M, Yamagishi T: MRI of patellar tendon anterior cruciate ligament autografts. *J Comput Assist Tomogr.* 1992; 16: 604-607.
- Yao L, Gentili A, Petrus L, et al.: Partial ACL rupture - An MR diagnosis. *Skeletal Radiol.* 1995; 24: 247-251.
- Yasuda K, Tomiyama Y, Ohkoshi Y et al.: Arthroscopic observations of autogenous quadriceps and patellar tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction of the knee. *Clin Orthop.* 1989; 264: 217-224.
- Yu B, Lin CF, Garrett WE: Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2006;21(3): 297-305.
- Zazulak BT, Ponce P, Straub SJ, Medvecky MJ, Avedisian L, Hewett TE: Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005;35 (5): 292-299.
- Zelisko JA, Noble HB, Porter M: A comparison of men's and women's professional basketball injuries. *Am J Sports Med.* 1982 Sep-Oct;10(5):297-9.
- Zionts LE: Fractures around the knee in children. *J Am Acad Orthop Surg.* 2002;10(5):345-55.