



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-Infantili

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A 2014/2015

Campus Universitario di Savona

Lesioni di gomito sport-correlate: considerazioni biomeccaniche e strategie di prevenzione

Candidato:

Davide Leonzio

Relatore:

Diego Arceri

INDICE

ABSTRACT	3
1. INTRODUZIONE	4
1.1 Anatomia funzionale del gomito	
1.2 Lesioni di gomito sport-correlate	
2. MATERIALI E METODI	11
3. RISULTATI	12
4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI	31
5. BIBLIOGRAFIA	33

ABSTRACT

INTRODUZIONE: le lesioni del gomito sono comuni negli sport di lancio come il baseball e il tennis, ma sono anche presenti in tutti quelle discipline che richiedono sollevamento, spinte, trazioni o trasferimenti di forza ad una racchetta o più in generale ad un equipaggiamento sportivo. Possono essere sia acute che croniche: le prime sono causate da traumi acuti, come impatti ad alta energia, mentre le altre sono il risultato di un sovraccarico reiterato sul gomito e rappresentano la tipologia di lesione più frequente. Queste ultime, inoltre, colpiscono sia l'atleta in età pediatrica che l'adulto, e se non individuate e trattate correttamente possono portare all'intervento chirurgico e alla fine della carriera.

OBIETTIVO: lo scopo di questa revisione è mettere in luce le principali cause di infortunio al gomito nella popolazione sportiva analizzandone gli aspetti patomeccanici, al fine di individuare e suggerire delle strategie preventive.

MATERIALI E METODI: la ricerca è stata condotta utilizzando la banca dati elettronica MEDLINE. Sono state combinate le parole chiave "athletic injuries" ed "elbow joint", alle quali sono stati associati termini inerenti. L'inclusione degli articoli è stata svolta per pertinenza all'argomento trattato.

RISULTATI: 13 articoli rispondevano ai criteri di inclusione e sono stati utilizzati nella revisione. Di questi, 7 riguardano i giovani lanciatori di baseball, 2 i giocatori adulti di baseball, 1 la ginnastica artistica, 1 il tennis, 1 gli sport overhead in generale e 1 le lussazioni di gomito.

CONCLUSIONI: Le cause principali di infortunio al gomito sono il sovraccarico e le cadute. Le principali strategie di prevenzione delle lesioni di gomito sport-correlate riguardano un adeguato controllo della tecnica e la riduzione dei deficit di forza e di mobilità. Per quanto riguarda i giovani lanciatori è consigliato limitare il numero di lanci e più in generale il sovraccarico. Per far fronte a traumatismi acuti è indicato utilizzare adeguati dispositivi di sicurezza e un addestramento alle differenti strategie di caduta.

1. INTRODUZIONE

Il gomito svolge un ruolo fondamentale da un punto di vista funzionale per la mano dell'atleta, poiché consente di orientare la mano stessa nello spazio e poter compiere il gesto richiesto.

Le lesioni di gomito sono comuni negli sport di lancio come baseball e tennis, ma possono avvenire in tutte quelle discipline che richiedano sollevamenti, spinte, trazioni o trasferimenti di energia ad un'appendice o, più nello specifico, ad un equipaggiamento sportivo. Infatti, sebbene gran parte della letteratura inerente tale argomento tratti in maniera specifica gli sport di lancio, e in modo particolare il baseball, uno studio di Bethapudi² sugli infortuni avvenuti alle Olimpiadi di Londra 2012 rivela che le lesioni di gomito avvengano non di rado anche in attività non "over-head", come sport di potenza e combattimento (judo, boxe, wrestling e sollevamento pesi).

Studiare la biomeccanica del gomito nell'ambito del gesto sportivo e la sua correlazione con l'infortunio è fondamentale per fornire all'atleta adeguate strategie di prevenzione.

1.1 ANATOMIA FUNZIONALE DEL GOMITO

Il gomito è un fulcro estremamente complesso, essendo composto da 3 differenti articolazioni: radio-omeroale, ulno-omeroale e radio-ulnare prossimale. La congruenza delle superfici articolari, insieme alle strutture legamentose e alla muscolatura circostante, conferiscono al gomito stabilità sia in statica che in dinamica consentendo movimenti di flessione-estensione e pronosupinazione. Inoltre, la capsula articolare che circonda le 3 articolazioni conferisce ulteriore stabilità, soprattutto in estensione.

I due complessi legamentosi principali, essenziali per la stabilità del gomito, sono il collaterale mediale (MCL) e il collaterale laterale (LCL). Il MCL è composto da un fascio anteriore (aMCL), un fascio posteriore (pMCL) e da un fascio trasverso. Il LCL è costituito dal legamento collaterale radiale, dal legamento collaterale ulnare laterale e dal legamento anulare.

Nella patogenesi delle lesioni di gomito il MCL ha una grande rilevanza, essendo il principale stabilizzatore statico negli stress in valgo e a gomito flessione: in seguito alla sua resezione si ha infatti notevole instabilità in valgo, massima a 90° di flessione. Per tali gradi di movimento infatti la capsula anteriore è detesa e il MCL contribuisce per il 54% alla forza di stabilizzazione²⁷

In estensione, il MCL, la capsula anteriore e la congruità delle superfici articolari contribuiscono in egual misura alla stabilità in valgo.

Analizzando più nello specifico i fasci che compongono il MCL, l'anteriore (aMCL) fornisce il contributo principale alla stabilità in valgo tra i 20° e i 120° di flessione. È composto da una banda anteriore e una banda posteriore che vengono tensionate in modo alterno a seconda che il gomito sia flessione o esteso: la banda anteriore è più vulnerabile a gomito esteso, mentre la banda posteriore è più vulnerabile a gomito flessione. Il pMCL contribuisce alla stabilità in valgo tra i 55° e i 140° di flessione¹.

I 4 principali gruppi muscolari che contribuiscono a garantire la stabilità dell'articolazione sono i flessori di gomito, gli estensori di gomito, gli estensori-supinatori di polso e i flessori-pronatori di polso³³. I tendini dei muscoli flessori dell'avambraccio sono stati identificati come i principali stabilizzatori dinamici dello stress in valgo. Nell'ambito di questo gruppo muscolare non è stato a tutt'oggi definito il

maggior responsabile di tale stabilizzazione: i principali candidati sono il flessore ulnare del carpo, che si trova direttamente sopra il MCL, e il flessore superficiale delle dita, che si trova vicino al MCL e ha una grande massa^{5,33}, ma il dibattito è ancora aperto.

1.2 LESIONI DI GOMITO SPORT-CORRELATE

In questa sezione verranno descritte le principali lesioni di gomito legate all'attività sportiva, con una particolare attenzione alle lesioni degli atleti cosiddetti "lanciatori".

Lesione negli sport di lancio

Durante il lancio il gomito è soggetto a stress estremi in valgo. Questi stress sono maggiori durante le fasi di "late cocking" ed "early acceleration", quando l'omero è ruotato esternamente, il gomito è flesso e viene creato un momento angolare dalla palla nella mano. Il gomito agisce come fulcro tra il momento della palla nella mano e le forze di rotazione del tronco¹³. La forza di stress in valgo durante le fasi di lancio sopracitate è di 64 Nm⁴⁶. Studi su cadavere hanno mostrato che il MCL resiste a solo 33 Nm. Quindi altre componenti come anatomia delle ossa, strutture medialie e stabilizzatori dinamici giocano un ruolo importante nell'assorbire lo stress¹³. Carichi ripetitivi, vicini al carico di rottura, durante il lancio possono provocare microtraumi all'aMCL ed eventualmente possono causare una **riduzione dello spessore del legamento o la rottura**. Le forze al gomito dovute a ripetuti stress in valgo provocano: (1) forze di trazione/tensione sulle strutture medialie (MCL, nervo ulnare, massa dei flessori-pronatori), (2) forze compressive sulle strutture laterali (articolazione radio-omerale), (3) compressione/impingement e forze di taglio nel compartimento posteromediale⁷.

Ci sono diverse altre patologie associate ad insufficienza del MCL. Un eccessivo allungamento dei tessuti molli medialie può portare a **tendinopatia dei flessori o tendinopatia mediale di gomito**. La massa dei flessori-pronatori è il principale stabilizzatore di stress in valgo (soprattutto sono coinvolti il flessore ulnare del carpo e il flessore superficiale delle dita)^{5,33}. A seguito di lanci ripetuti, questi muscoli possono affaticarsi o lesionarsi. Studi hanno mostrato una disfunzione del gruppo dei flessori-pronatori in soggetti con insufficienza del MCL¹⁸. Altri hanno riportato **rottture dei tendini dei flessori-pronatori** concomitanti, in seguito a interventi chirurgici di MCL³⁰. Un incremento di instabilità in valgo e la trazione sulla parte mediale del gomito possono causare una **neurite del nervo ulnare** così come osteofiti prossimi all'articolazione mediale. Osteofiti sull'olecrano postero medialie possono svilupparsi a causa di forze di taglio e forze compressive tra il becco dell'olecrano e la fossa

olecranica. Questo fenomeno è chiamato **sindrome da sovraccarico da estensione in valgo o impingement posteriore**⁷.

Gli osteofiti possono staccarsi e formare **corpi mobili**¹⁰. Un momento torcente in valgo provoca forze compressive nel gomito laterale tra il capitello e la testa radiale. Questo potenzialmente può portare a **necrosi avascolare, osteocondrite dissecante, usura condrale e cambiamenti degenerativi**¹³.

Giovani atleti con fisiologie aperte e maggiore flessibilità hanno un rischio maggiore di incorrere in un'ostecondrite dissecante del capitello a causa dell'incremento del carico sull'articolazione radio-omerale. "**Little league elbow**" è un termine utilizzato per le patologie che interessano i giovani lanciatori ed include disturbi come avulsione epicondylare, apofisiti, o crescita apofisale accelerata dovuta a forze distrattive medializzate³⁹.

Tendinopatie

La tendinopatia è una causa molto frequente di dolore al gomito e può presentarsi sia lateralmente che medialmente. È una patologia comune sia agli atleti che ai non-atleti e si manifesta dalle 4 alle 7 volte più frequentemente sulla parte laterale rispetto alla parte mediale.

La **tendinopatia laterale di gomito**, conosciuta anche col nome di gomito del tennista, è frequente anche in pazienti che non praticano questo sport. Si stima che tra il 10% e il 50% delle persone che praticano tennis sviluppino questa patologia nel corso della loro carriera. Analisi biomeccaniche hanno dimostrato che le contrazioni eccentriche dell'estensore radiale breve del carpo durante il rovescio, specialmente negli atleti novizi, siano causa di microtraumi ripetuti che causano lesioni all'origine del tendine e quindi dolore³⁸. Altri autori suggeriscono che le cause della tendinopatia possano essere: trauma diretto nella regione laterale del gomito, relativa ipovascolarizzazione della regione, antibiotici fluorochinoloni²³ e predisposizione anatomica³.

La **tendinopatia mediale di gomito**, nota come gomito del golfista, colpisce preferibilmente golfisti e atleti "over-head" ma può presentarsi in atleti di sport differenti come bowling, sport con racchette, giocatori di football, arcieri, sollevatori di pesi e giavellottisti⁴. Contrariamente alla tendinopatia laterale, è più frequente negli atleti esperti rispetto ai novizi. I muscoli principalmente coinvolti sono il flessore radiale del carpo e il pronatore rotondo. L'esposizione ripetitiva delle strutture medializzate del gomito a

forze distrattive, in un contesto di scarse capacità tecniche, riscaldamento inadeguato, o sovraccarico, può portare a microlesioni di questi tendini.

Neuropatie da compressione

Sindrome del tunnel cubitale: studi anatomico suggeriscono che tra le possibili cause predisponenti a tale sindrome ci siano l'ipertrofia del capo mediale del tricipite e dei muscoli flessori-pronatori¹⁶. I meccanismi dinamici sono tipici degli sport di lancio dove, l'estremo stress in valgo può portare a neuropatia per la trazione del nervo ulnare dovuta alla lassità del MCL o direttamente per compressione dovuta ad osteofiti.

Sindrome del pronatore rotondo: è molto più frequente negli atleti che nei non-atleti ed è causata dall'estrema ipertrofia della muscolatura prossimale dell'avambraccio che va a comprimere il nervo mediano. Tale compressione può essere vista in ginnasti, lanciatori, rematori e acrobati²⁶.

Lussazioni

O'Driscoll³¹ descrive l'instabilità posterolaterale rotatoria come meccanismo alla base della lussazione di gomito. In questo meccanismo il paziente cade sulla mano stesa, producendo compressione assiale e flessione sul gomito. Il corpo ruota internamente sul gomito e l'avambraccio esternamente. Oltre a queste forze si aggiunge il tipico stress in valgo prodotto dalla caduta del corpo con la mano fissa in posizione laterale. Tale combinazione di forze porta a rottura dei legamenti stabilizzatori di gomito, dal compartimento laterale al mediale, facilitando la lussazione. Il meccanismo anatomopatologico alla base dell'instabilità posterolaterale rotatoria è chiamato Ciclo di Horii: prima si ha la rottura del LCL, poi della capsula anteriore e posteriore e infine le fibre del MCL. Il risultato di questo ciclo è la lussazione franca.

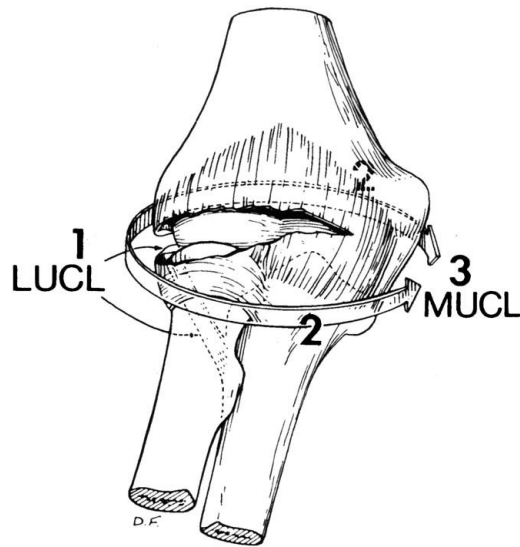


Figura 1: ciclo di Horii

Fratture

Sono dovute a traumi ad alta energia. Possono essere causate sia da impatto diretto, sia da meccanismi di avulsione. La frattura della testa del Radio è la frattura più comune sia per gli atleti che per i non-atleti²⁰. Queste sono fratture indirette, dove la caduta dell'atleta a braccio esteso e il conseguente stress in valgo, causano la frattura della superficie articolare o del collo radiale.

2. MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta utilizzando la banca dati elettronica MEDLINE. Sono stati presi in considerazione solo articoli lingua inglese e italiana, senza limiti temporali. Sono state combinate le parole chiave “athletic injuries” ed “elbow joint”, alle quali sono stati associati termini inerenti attraverso l'utilizzo degli operatori booleani AND e OR, al fine di includere il maggior numero di studi.

La stringa che ne è risultata è la seguente:

((“Athletic Injuries”[Mesh]) AND (“Elbow Joint”[Mesh] OR “Elbow”[Mesh] OR elbow OR “Radius”[Mesh] OR “Radius Fractures”[Mesh] OR “Ulna”[Mesh] OR “Ulna Fractures”[Mesh]))

CRITERI DI INCLUSIONE

I criteri di inclusione presi in considerazione per la ricerca sono i seguenti:

- Articoli che trattano il rapporto tra biomeccanica del gesto atletico e infortuni
- Articoli che trattano di prevenzione degli infortuni
- Articoli in lingua inglese o italiana
- Articoli riguardanti esseri umani
- Articoli di cui è reperibile l'abstract

CRITERI DI ESCLUSIONE

- Articoli che trattano di riabilitazione delle lesioni di gomito
- Articoli che valutano l'effetto dell'intervento chirurgico
- Articoli che parlano di imaging diagnostico

La prima scrematura degli articoli è stata eseguita sulla base del titolo e dell'abstract, in particolare sulla pertinenza circa lo scopo dello studio. In seguito è stata effettuata una valutazione più approfondita mediante la lettura del full text.

3. RISULTATI

La ricerca ha prodotto un risultato di 756 articoli.

Tramite la prima scrematura, che ha preso in considerazione titolo e abstract, sono stati esclusi 672 articoli non pertinenti all'argomento. La seconda selezione è stata effettuata in seguito alla lettura integrale degli articoli rimasti, sono stati quindi esclusi 63 articoli, di cui 1 per mancanza del full text (Fig.1).

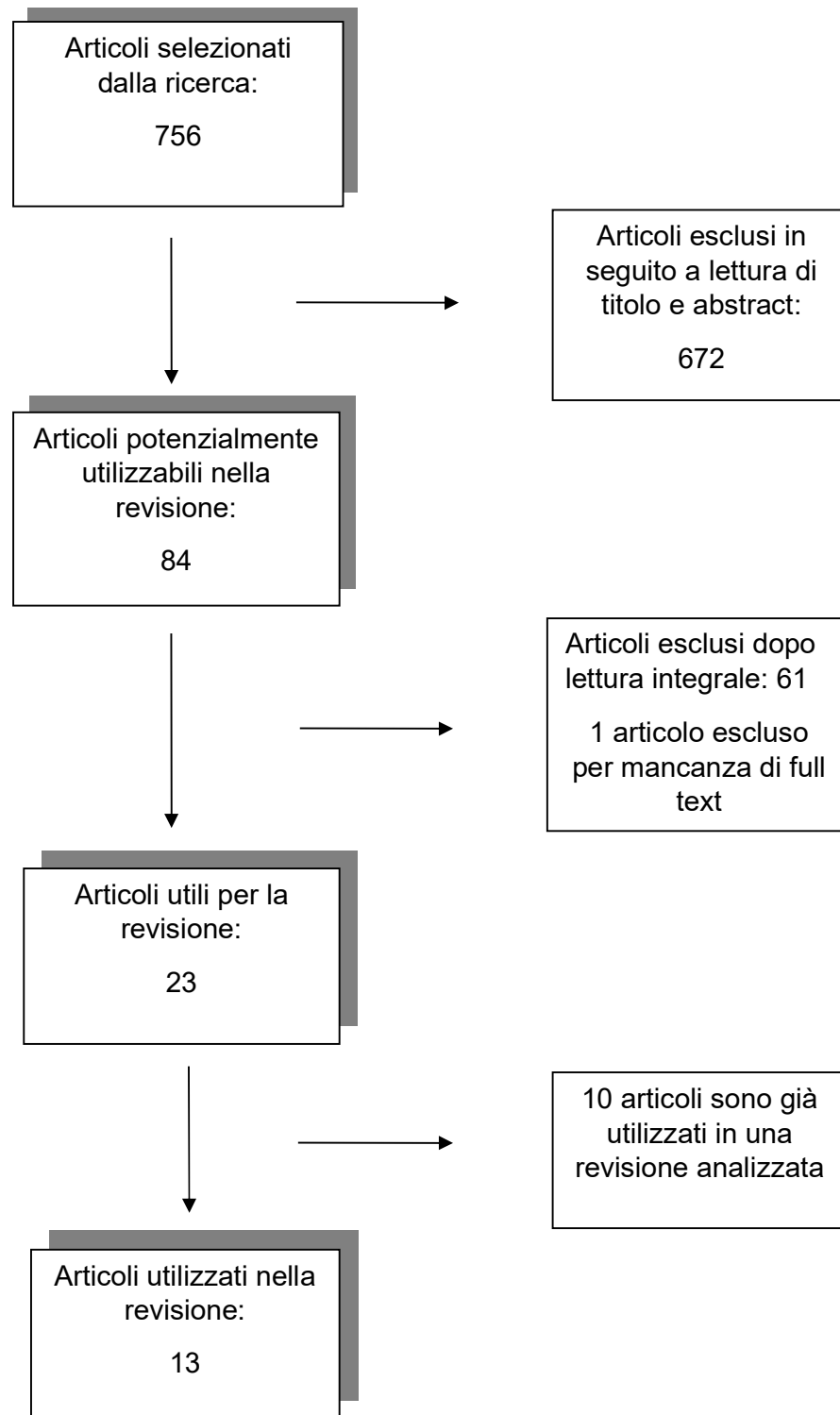


Figura 2: Diagramma di flusso indicante il processo di selezione degli articoli

Nella seguente tabella vengono riportati, in modo dettagliato gli articoli selezionati per la revisione della letteratura.

Autore e anno di pubblicazione	Tipo di studio	Obiettivo dello studio	Materiali e metodi	Risultati
Shanley 2015⁴³	Prospectiv cohort study	Determinare se una limitazione di ROM di spalla possa essere fattore di rischio di infortunio di spalla e/o gomito in lanciatori tra gli 8 e 18 anni	Valutato il ROM passivo di spalla in 115 lanciatori con inclinometro digitale a inizio stagione	Una differenza di ROM >15° di adduzione orizzontale e >13° di rotazione interna determina negli adolescenti un rischio rispettivamente di 4 e 6 volte maggiore di avere un infortunio
Popchak 2015³⁶	Review	Identificare i fattori di rischio di infortuni di spalla e/o gomito nei giovani lanciatori		<i>Cinematica:</i> un giovane lanciatore dovrebbe imparare un'adeguata meccanica di lancio prima possibile e concentrarsi sulla potenza e sulla forza con il raggiungimento della maturità corporea <i>Tipo di lancio:</i> i lanci "change-up" sono quelli che danno meno stress alle articolazioni. Sebbene in passato si ritenesse che le "palle curve" fossero più pericolose delle "palle veloci", gli ultimi studi sembrano smentire questa affermazione. <i>Velocità di lancio:</i> è associata a maggior rischio di infortunio sia nei giovani che negli adulti. <i>Fatica:</i> risulta un fattore di rischio per gli infortuni di gomito e spalla poiché

				ridurrebbe la propriocezione e altererebbe la corretta meccanica di lancio, incrementando gli stress meccanici. <i>Numero di lanci:</i> un numero di lanci >75 per partita e >600 a stagione è un fattore di rischio per infortuni al gomito <i>Ruolo:</i> il lanciatore ha più probabilità di infortunio rispetto ai giocatori di posizione
Polster 2013³⁵	Case-control study	Dimostrare che il grado di torsione omerale è inversamente correlata con la severità e l'incidenza di infortuni all'arto superiore	25 lanciatori professionisti sono stati valutati tramite CT. I giocatori sono stati seguiti per 2 anni dopo CT. Il numero di giorni senza lanciare è stato preso come misura di outcome per valutare la gravità dell'infortunio.	C'è una forte correlazione tra minori gradi di torsione omerale e la maggior gravità di infortunio all'arto superiore. È presente una più alta incidenza di infortuni gravi in giocatori con minor torsione omerale dell'arto dominante.
Garrison 2012¹⁷	Cross-sectional study	Comparare il ROM di spalla di giocatori di baseball con la rottura del MCL	30 giocatori con rottura del MCL sono stati comparati a 30 giocatori senza rottura MCL. È stato misurato ER, IR,	Una differenza tra i due arti nel movimento totale di rotazione è associato a rottura del MCL. Sebbene il deficit di intrarotazione (GIRD) sia prevalente nei lanciatori, non è associato a rottura del MCL.

			adduzione omerale a 90° e estensione omerale	
Huang 2010 ²¹	Comparative study	Verificare le differenze nella cinematica di lancio tra soggetti giovani con e senza storia di dolore mediale di gomito (MEP)	15 soggetti con storia di MEP e 15 soggetti senza storia di MEP sono stati analizzati tramite software di analisi del movimento	Il gruppo con storia di MEP ha mostrato minor flessione di gomito alla massima rotazione esterna di spalla, maggior tilt laterale del tronco al rilascio della palla, velocità maggiore di rotazione del tronco superiore, maggiore velocità massima di rotazione della pelvi e velocità della palla.
Fleisig 2009 ¹⁵	Review	Identificare i fattori di rischio noti associati a infortuni di gomito in giovani lanciatori		Il sovraccarico è il principale fattore di rischio: adolescenti che lanciano >85 lanci per partita, >8 mesi all'anno, o con l'arto affaticato hanno maggior probabilità di necessitare un intervento chirurgico. Un scarso controllo della meccanica di lancio sembra essere un fattore di rischio Non sembra esserci correlazione tra palle curve e infortuni
Han 2009 ¹⁹	Descriptive epidemiological study (retrospettivo)	Valutare la distribuzione degli infortuni di spalla e gomito nei lanciatori	554 giocatori infortunati sono stati valutati tramite risonanza magnetica	Giocatori più alti e pesanti sono più affetti da lesioni di MCL e SLAP. Lanciatori ed esterni sono più soggetti a infortuni di MCL rispetto agli interni. Giocatori di junior high school sono più colpiti da osteocondrite dissecante rispetto a high school e college, i quali sono più soggetti a lesioni MCL e

				SLAP
Trakis 2008 ⁴⁴	Controlled laboratory study	Valutare la differenza di forza dei muscoli posteriori di spalla e nel ROM totale di spalla nei giovani lanciatori con e senza storia di dolore correlato al lancio nell'arto dominante	23 lanciatori adolescenti, 1 gruppo con storia di dolore all'arto superiore dominante (spalla e/o gomito) nella stagione precedente e 1 gruppo senza storia di dolore. È stato misurato il ROM in rotazione esterna e interna, e la forza dei principali gruppi muscolari della spalla.	Nessuna differenza nel ROM tra i due gruppi. Il gruppo con storia di dolore ha i muscoli intrarotatori più forti del gruppo senza storia di dolore e relativa debolezza di sovraspinato e trapezio medio.
Kibler 2004 ²²	Review	Valutare il contributo della catena cinetica nelle disfunzioni di gomito nello sport.		Tra il 63% e il 74% dell'energia cinetica e della forza che arriva alla mano è stato sviluppato da anca, tronco o spalla. L'attivazione muscolare attorno al gomito non appare continuare questa sequenza di sviluppo della forza ma sembra essere coinvolta nei meccanismi di controllo. La mancanza di attivazione prossimale può determinare una condizione di sovraccarico al gomito a parità di energia in uscita. Nel lancio o nel servizio il gomito raggiunge la velocità

				di massima estensione e la posizione di massima estensione prima della generazione della massima forza di spalla: l'estensione di gomito aumenta il contributo osseo alla stabilità articolare e diminuisce il carico sul MCL Il momento di rotazione interna di spalla ha una funzione protettiva sugli stress in valgo al gomito
Sabick 2004⁴¹	Studio osservazionale	Determinare fattori biomeccanici e antropometrici che contribuiscono al momento torcente in valgo del gomito durante il lancio nei giovani lanciatori	14 soggetti sono stati analizzati con un sistema di analisi video del movimento	Peso, altezza, e massima rotazione esterna sono fattori che influiscono sul momento torcente in valgo del gomito
Eyghenda al 2007¹¹	Review	Analizzare la relazione tra biomeccanica e patologia nel tennis		Durante la battuta, l'asse del gomito si sposta da varo a valgo e da flessione a esteso. Questa combinazione di forze in valgo e rapida estensione causa forze tensive lungo la parte mediale, compressione della parte laterale e forze di taglio nel compartimento posteriore. La richiesta di rotazione interna dell'arto superiore nel tennis può portare ad un incremento delle forze di rotazione interna nel gomito <i>Insufficienza MCL:</i> valutare la rotazione interna di spalla e la tecnica di gioco da fondocampo e nel servizio

				nei quale l'estensione dovrebbe essere monitorata con attenzione. Allenare i muscoli flessore ulnare del carpo, pronatore rotondo e flessore superficiale delle dita in quanto stabilizzatori secondari. Giocare con una "presa western" può incrementare le forze di stress in valgo sul gomito, specialmente durante l'accelerazione. <i>Tendinosi o rottura dei muscoli flessori-pronatori:</i> fattori relati: eccessivo colpo di frusta del polso, colpire la palla in "open stance", aprire troppo presto nel servizio. <i>Tendinopatia laterale di gomito:</i> giocatori esperti aumentano l'estensione di polso appena prima di colpire la palla, i novizi colpiscono la palla col polso più flesso. La dimensione dell'impugnatura della racchetta non ha effetto sull'attività muscolare.
Priest 1981 ³⁷	Case reports	Analizzare meccanismo lesionale, tipo di infortunio, elementi in comune e trattamento	Sono state analizzate 30 ginnaste con 32 lesioni di gomito	Il meccanismo lesionale è stato simile: caduta su braccio teso. Gli assistenti non erano presenti nel 60% dei casi. Più del doppio degli infortuni è avvenuto su materassi sottili o sul pavimento piuttosto che su materassi spessi. Poche ginnaste sono state istruite su come

				cadere
Schreiber 2013⁴²	Case report? (you tube)	Analizzare il meccanismo lesionale nelle lussazioni di gomito in vivo	Sono stati analizzati 62 video presi da YouTube selezionati in base alla certezza della diagnosi, qualità dell'immagine, e consenso di 3 esperti	Il meccanismo lesionale apparentemente più comune è una forza in valgo con gomito esteso. Sono stati individuati 4 pattern: 1) avambraccio pronato con carico assiale e stress in valgo a gomito esteso, spalla flessa e abdotta, corpo ruotato internamente rispetto all'avambraccio (tipico di football e wrestling). 2) Carico assiale e stress in valgo ad avambraccio supinato e spalla estesa (tipico del pattinaggio in linea). 3) Come il pattern 1 ma con spalla in iperflessione (sollevamento pesi). 4) dovuto a forze esterne (contatti con altri atleti), stress in varo a gomito flesso (contatti nel football o wrestling).

Nella revisione di Popchak del 2015 sono stati esaminati i seguenti articoli non riportati in tabella:

- Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (1999). Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *Journal of biomechanics*, 32(12), 1371-1375.¹⁴
- Lyman, S., Fleisig, G. S., Waterbor, J. W., Funkhouser, E. M., Pulley, L., Andrews, J. R., ... & Roseman, J. M. (2001). Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1803-1810.²⁵
- Lyman, S., Fleisig, G. S., Andrews, J. R., & Osinski, E. D. (2002). Effect of pitch type, pitch count, and pitching mechanics on risk of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 30(4), 463-468.²⁴
- Petty, D. H., Andrews, J. R., Fleisig, G. S., & Cain, E. L. (2004). Ulnar Collateral Ligament Reconstruction in High School Baseball Players Clinical Results and Injury Risk Factors. *The American journal of sports medicine*, 32(5), 1158-1164.³⁴
- Sabick, M. B., Kim, Y. K., Torry, M. R., Keirns, M. A., & Hawkins, R. J. (2005). Biomechanics of the Shoulder in Youth Baseball Pitchers Implications for the Development of Proximal Humeral Epiphysiolysis and Humeral Retrotorsion. *The American journal of sports medicine*, 33(11), 1716-1722.⁴⁰
- Olsen, S. J., Fleisig, G. S., Dun, S., Loftice, J., & Andrews, J. R. (2006). Risk factors for shoulder and elbow injuries in adolescent baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 34(6), 905-912.³²
- Dun, S., Loftice, J., Fleisig, G. S., Kingsley, D., & Andrews, J. R. (2008). A biomechanical comparison of youth baseball pitches is the curveball potentially harmful?. *The American journal of sports medicine*, 36(4), 686-692.⁸
- Nissen, C. W., Westwell, M., Öunpuu, S., Patel, M., Solomito, M., & Tate, J. (2009). A biomechanical comparison of the fastball and curveball in adolescent baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 37(8), 1492-1498.²⁹
- Davis, J. T., Limpisvasti, O., Fluhme, D., Mohr, K. J., Yocum, L. A., ElAttrache, N. S., & Jobe, F. W. (2009). The effect of pitching biomechanics on the upper extremity in youth and adolescent baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 37(8), 1484-1491.⁶

- Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Cutter, G. R., Weber, A., Loftice, J., McMichael, C., ... & Lyman, S. (2011). Risk of Serious Injury for Young Baseball Pitchers A 10-Year Prospective Study. *The American journal of sports medicine*, 39(2), 253-257.¹²

Dei 13 articoli selezionati, 7 riguardano i giovani lanciatori di baseball, 2 i giocatori adulti di baseball, 1 le ginnaste, 1 il tennis, 1 gli sport overhead in generale e 1 le lussazioni di gomito.

Contributo della catena cinetica nelle disfunzioni di gomito

I fattori locali che si suppone contribuiscano alla protezione di legamenti e ossa sono l'attivazione eccentrica della muscolatura del gomito, e in particolare il flessore ulnare del carpo e il flessore superficiale delle dita, e l'azione indiretta di bicipite e tricipite nella stabilizzazione dell'articolazione (Davidson)⁵. Tuttavia analisi matematiche hanno dimostrato che né il flessore ulnare del carpo né il flessore superficiale delle dita hanno una sezione trasversa tale da sviluppare la forza necessaria a resistere alle sollecitazioni meccaniche causate dal lancio. Inoltre questi muscoli hanno un braccio di leva corto sul gomito che li rende meccanicamente svantaggiati nel contrastare forze distrattive. Bicipite e tricipite potrebbero avere una certa importanza nel comprimere l'articolazione, ma hanno un ruolo inferiore nel contrastare i grossi carichi in valgo e varo tipici dei lanci. Risulta quindi evidente che devono essere presenti altri meccanismi che regolano i carichi e proteggono il gomito.

Kiebler²² nella sua revisione del 2004 identifica 3 meccanismi tramite i quali la catena cinetica agisce per consentire un'adeguata resistenza al carico. In primis, la catena cinetica garantisce l'ottimizzazione dell'efficienza di attivazione dei segmenti prossimali al fine di minimizzare la necessità di alta produzione di forza nei segmenti distali. È stato dimostrato che esiste un pattern di coordinazione di attivazione muscolare e sviluppo di forza che parte dalle gambe e arriva fino al braccio appena inizia un rapido movimento omolaterale dell'arto superiore. Nel tennis dal 63% al 74% dell'energia cinetica è sviluppata da anca, tronco o spalla. La sequenza di attivazione muscolare e il picco di forza procede dagli obliqui interni ed esterni controlaterali e retto dell'addome agli stabilizzatori di scapola e alla cuffia dei rotatori. L'attivazione muscolare attorno al gomito non appare continuare questa sequenza di sviluppo della forza ma sembra essere coinvolta nei meccanismi fini di controllo. La mancanza di attivazione

prossimale può determinare una condizione di sovraccarico al gomito a parità di energia in uscita. Un esempio dell'influenza della catena cinetica sul carico al gomito è dato dallo studio di Elliott⁹ su tennisti olimpici. Su due gruppi che sviluppavano la stessa velocità di palla in uscita, il gruppo che mostrava una flessione di ginocchio inferiore a 10° durante la “cocking phase” al servizio, aumentava il carico in valgo al gomito del 21%.

La seconda interazione tra catena cinetica e gomito riguarda gli eventi biomeccanici che si verificano durante i movimenti coinvolti nell'estensione di gomito e che sono volti a minimizzare i carichi sulle strutture legamentose. Studi hanno mostrato che durante il lancio o il servizio il gomito raggiunge la velocità massima di estensione e la posizione di massima estensione prima della massima forza o velocità di spalla. L'estensione di gomito contribuisce alla stabilità e diminuisce i carichi al MCL.

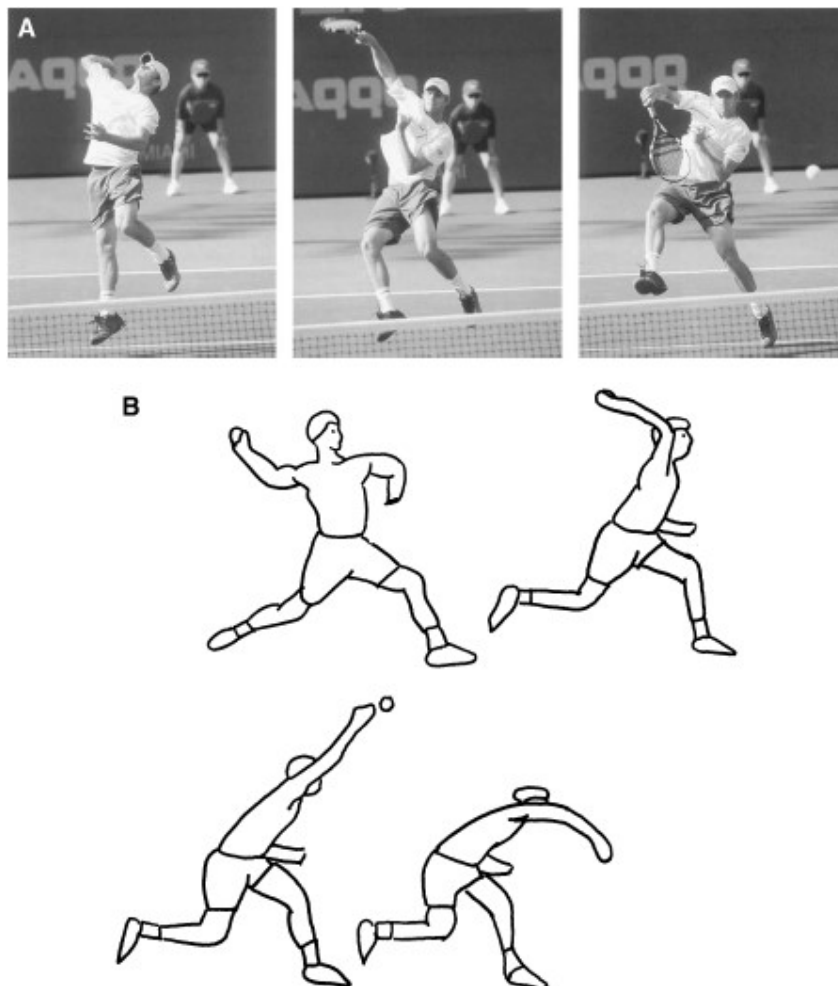


Figura 3: esempi di long axis rotation

N. Marshall ed Elliott²⁸ hanno dimostrato che, la “long-axis rotation” (asse lungo di rotazione), data dall'accoppiamento di intrarotazione di spalla e pronazione di gomito lungo l'asse che collega spalla e mano e che è accentuato dalla massima estensione di gomito prima della massima rotazione del braccio, è un evento biomeccanico chiave che avviene appena prima il rilascio o l'impatto con la palla: questa coppia di movimenti crea rotazione attorno all'asse per lo più dritto del braccio che minimizza i carichi in valgo che si possono generare nel gomito. Senza l'elevazione del gomito e l'estensione prima della massima rotazione di spalla, sono stati visti incrementi di carico ai legamenti del gomito durante l'accelerazione del braccio.

Il terzo fattore della catena cinetica che influenza il gomito è la produzione di movimenti interattivi che proteggono il gomito. I momenti interattivi sono definiti come forze generate a livello delle articolazioni dal movimento e dalla posizione di segmenti corporei adiacenti. L'accelerazione in varo che contrasta il carico in valgo del gomito, è sviluppata dai momenti interattivi che si generano dalla rotazione interna di spalla. Un deficit di rotazione interna (GIRD) $>25^\circ$ potrebbe essere correlato con disturbi al gomito.

Baseball

Garrison¹⁷ ha misurato il ROM di spalla in un gruppo di soggetti con lesione del MCL e ha posto a confronto i valori riscontrati con quelli identificati in un gruppo di controllo sano. L'ipotesi era che i giocatori con lesione del MCL avessero maggior GIRD e un deficit nel ROM totale di spalla in rotazione (dato dalla somma delle misure di extrarotazione ed intrarotazione). Sono stati analizzati 30 soggetti per gruppo: il gruppo con lesione del MCL ha mostrato un deficit statisticamente significativo di ROM totale in rotazione ($-6,67^\circ$), e di extrarotazione del braccio dominante rispetto al gruppo di controllo. Non è stata invece trovata nessuna differenza nel GIRD, adduzione orizzontale o differenza di estensione di gomito tra i due arti. Sebbene un aumento della extrarotazione venga ritenuto potenzialmente dannoso per il gomito poiché aumenta il momento torcente a livello dell'articolazione, lo studio ha riscontrato una riduzione di questo valore nei giocatori infortunati. L'autore spiega questo evento come un meccanismo di protezione che attuano gradualmente gli atleti infortunati per minimizzare gli stress in valgo al gomito.

Polster³⁵ ha misurato tramite TC la torsione omerale di 25 giocatori professionisti e seguito i giocatori per 2 anni, monitorando gli infortuni e i giorni necessari al ritorno in

campo. Alti livelli di torsione omerale consentono al lanciatore di raggiungere la massima rotazione esterna nella fase di "late cocking" con minor sollecitazione del capo lungo del bicipite e della cuffia dei rotatori. Gli autori hanno trovato una forte relazione tra i gradi minori di torsione omerale e la maggior gravità degli infortuni all'arto superiore oltre che ad una maggior incidenza di questi ultimi. Questi risultati indicano quindi che la torsione omerale possa essere considerato un fattore di rischio per i lanciatori.

Giovani lanciatori

Nelle 2 revisioni di Popchack³⁶ e di Fleisig¹⁵ vengono analizzati i principali fattori di rischio delle lesioni di gomito nei lanciatori di baseball che non hanno raggiunto l'età adulta. Il principale fattore di rischio è il sovraccarico: entrambi gli autori concludono che adolescenti che lanciano più di 85 lanci a partita e/o per più di 8 mesi all'anno, hanno maggior probabilità di necessitare un intervento chirurgico al gomito. Giocatori più giovani non devono superare i 75 lanci a partita e i 600 a stagione. Anche lanciare con l'arto superiore affaticato risulta un fattore di rischio per infortuni di gomito e spalla poiché riduce le capacità propriocettive e altera la corretta meccanica di lancio, incrementando gli stress meccanici. Un altro fattore di rischio è la scarsa tecnica di lancio: i giovani lanciatori dovrebbero imparare un'adeguata meccanica di lancio prima possibile e concentrarsi sulla forza e sulla potenza una volta raggiunta la maturità corporea. Per quanto riguarda il tipo di lancio, gli ultimi studi sembrano smentire la correlazione tra palle curve e infortuni, mentre la velocità associata al lancio è un fattore di rischio sia nei giovani che negli adulti. Infine per quanto riguarda i ruoli, il lanciatore è a maggior rischio rispetto ai giocatori di posizione, probabilmente perché più soggetti a sovraccarico.

L'unico studio prospettico è quello di Shanley⁴³: l'autore ha misurato il ROM passivo di spalla prima dell'inizio della stagione a 115 giovani lanciatori e monitorato gli eventuali infortuni da sovraccarico a gomito e spalla nel corso della stagione. I lanciatori con una differenza di ROM maggiore di 15° di adduzione orizzontale e di 13° gradi di rotazione interna tra un arto e l'altro hanno una probabilità di infortunarsi da 4 a 6 volte maggiore. Raccomanda quindi un allenamento di stretching specifico durante tutta la stagione, e di monitorare il ROM soprattutto nelle fasi di rapido accrescimento e durante e dopo la riabilitazione da un infortunio.

Huang²¹ e Trakis⁴⁴ hanno comparato gruppi di soggetti con e senza storia di infortuni o dolore a carico dell'arto superiore. Il primo ha analizzato tramite un software di analisi di movimento differenze nella cinematica di lancio in lanciatori con e senza storia di dolore mediale di gomito. Il gruppo con storia di dolore ha mostrato minor flessione di gomito nel momento di maggior rotazione di spalla, un maggior angolo di tilt laterale di tronco al rilascio della palla, una maggior velocità di rotazione massima del tronco superiore, una maggior velocità di rotazione della pelvi e una maggior velocità della palla rispetto ai soggetti senza storia di dolore. Sebbene non sia chiaro se i risultati ottenuti siano causa o conseguenza di infortunio al gomito, l'autore consiglia di considerare questi dati come fattori di rischio. Trakis ha misurato il ROM in rotazione interna ed esterna e la forza dei principali muscoli di spalla in 2 gruppi con e senza storia di infortuni all'arto superiore. È emerso che la differenza di forza tra sovraspinato e trapezio medio tra arto dominante e non, è minore nel gruppo con storia di dolore, e maggiore per quanto concerne gli intrarotatori. Questi risultati suggeriscono che i dolori correlati al lancio potrebbero essere dovuti all'incapacità della muscolatura posteriore di spalla di tollerare gli stress impartiti dai potenti muscoli anteriori. Il rinforzo dei muscoli posteriori di spalla è quindi indicato per la prevenzione di infortuni e nei programmi riabilitativi.

Sabick⁴¹ ha analizzato 14 giocatori con un sistema di analisi del movimento e in particolare il momento torcente in valgo che è stato dimostrato stressare in maniera consistente il gomito. Peso, altezza e massima rotazione esterna sono risultati fattori che influiscono su momento torcente in valgo. Lo stesso autore conclude che tali fattori siano scarsamente controllabili poiché raggiungere un grado elevato di rotazione esterna favorisce la velocità della palla e che la strategia di prevenzione migliore è limitare il numero di lanci. Han¹⁹ nel suo studio retrospettivo ha aggiunto che peso e altezza sono fattori di rischio per lesioni di MCL e SLAP.

Tennis

La revisione di Eygendaal¹¹ fornisce una panoramica sugli infortuni al gomito nel tennis e la loro relazione con la biomeccanica. Nel tennis durante la battuta, come nella maggior parte degli sport overhead, si sviluppa un aumento della rotazione esterna della spalla a discapito della rotazione interna. La rotazione interna tuttavia riveste un ruolo importante durante il servizio e nel diritto, e la sua richiesta durante tali movimenti può incrementare le forze di rotazione interna nel gomito. Sui tre piani dello spazio

l'asse del gomito va da varo a valgo e da flesso a esteso. Questa combinazione di forze in valgo e rapida estensione causa forze distrattive lungo la parte mediale, compressione della parte laterale e forze di taglio nel compartimento posteriore. Questo meccanismo è causa di microtraumi ripetuti al MCL. L'attenuazione del legamento provoca movimenti in valgo anormali del gomito che possono portare a impingement dell'olecrano con la fossa olecranica. Tale impingement può causare lesioni osteocondrali ed eventuali modificazioni reattive come la formazione di osteofiti.

La prevenzione dell'insufficienza del MCL deve essere quindi basata sul controllo della tecnica. Deve essere monitorato l'asse di rotazione interna dell'omero e in particolare un'ottimale rotazione interna di spalla in combinazione con un'appropriata tecnica da fondocampo e nel servizio, nei quali l'estensione di gomito dovrebbe essere controllata attentamente. Inoltre dovrebbero essere rinforzati con un allenamento specifico i muscoli flessore ulnare del carpo e flessore superficiale delle dita poiché contribuiscono alla stabilità mediale del gomito.

La tendinosi o la rottura dei muscoli flessori-pronatori, al contrario del cosiddetto gomito del tennista, sono più frequenti nei tennisti di alto livello piuttosto che nei giocatori amatoriali. I muscoli più sottoposti a stress patologici sono il pronatore rotondo e il flessore radiale del carpo. La tendinopatia mediale è dovuta ad un sovraccarico di questi muscoli legato alle enormi sollecitazioni causate da questo sport. I possibili fattori correlati sono un'eccessiva frustata di polso (wrist snap), colpire in open stance (coi piedi paralleli alla rete), aprire troppo presto al servizio e i colpi "short-arm".

La tendinopatia laterale di gomito o gomito del tennista è una condizione che colpisce invece primariamente i giocatori amatoriali. Una delle ragioni è legata alla tecnica: i giocatori con più esperienza incrementano l'estensione di polso prima di colpire la palla, mentre i novizi colpiscono la palla col polso più flesso. Questo comporta una significativa contrazione eccentrica degli estensori del carpo, con microtraumi ripetuti che portano alla tendinopatia. Adottando la tecnica utilizzata dai giocatori esperti si limitano probabilmente le contrazioni eccentriche e si riduce la percentuale di infortunio. La dimensione della racchetta non sembra avere effetto sull'attività muscolare dei muscoli dell'avambraccio e quindi non rappresenta un fattore di rischio. L'autore conclude che dovrebbe essere impostato un allenamento concentrico ed

eccentrico per i muscoli dell'avambraccio, poiché gli squilibri muscolari sono coinvolti nella tendinopatia laterale di gomito.

Ginnastica artistica

Priest nel 1981 ha cercato di analizzare il meccanismo lesionale e i tipi di infortunio a carico del gomito nelle ginnaste. Ha valutato 30 ragazze per un totale di 32 lesioni di gomito. Di queste, la maggior parte sono state lussazioni e fratture, 2 osteocondriti del capitello. Il meccanismo di lesione è stato per lo più lo stesso, ovvero una caduta col braccio teso. Circa il 60% degli infortuni è avvenuto in assenza di assistenti. Più del doppio degli infortuni è avvenuto su materassi sottili o sul pavimento piuttosto che su materassi spessi. Gli autori concludono che, oltre ad aumentare quando possibile i dispositivi di sicurezza (assistenti e materassi più spessi nelle discipline aeree), deve essere insegnato alla ginnasta come cadere: gli autori suggeriscono il rotolamento o la caduta in posizione raggruppata come alternativa alla caduta a braccio steso da insegnare alle ginnaste.

Lussazioni di gomito

La maggior parte degli studi sui meccanismi lesionali della lussazione di gomito deriva dal racconto dei pazienti, o da modelli teorici, o studi su cadavere o modelli radiografici. Schreiber⁴² utilizza un metodo innovativo per studiare il meccanismo lesionale della lussazione in vivo. L'autore, tramite il sito web YouTube ha individuato 62 video da analizzare, selezionati in base alla certezza della diagnosi, alla qualità dell'immagine e al consenso di 3 esperti. La necessità di analizzare la lesione in vivo è dovuta alla mancanza di letteratura convincente su queste lesioni. Il modello lesionale classico (instabilità posterolaterale rotatoria-PLRI) prevede una caduta a braccio steso che provocherebbe una lesione delle strutture laterali di gomito, seguito da rottura della capsula anteriore e posteriore e infine delle strutture legamentose mediali. Dallo studio dei video emerge che la posizione più comune di lussazione è spalla abdotta e in flessione anteriore, col gomito in piena estensione e l'avambraccio pronato. Il meccanismo coinvolge uno stress in valgo combinato con una compressione assiale al gomito. Il corpo ruota internamente con avambraccio fisso, portando ad una progressiva rotazione esterna dell'intero avambraccio. L'autore ha inoltre osservato 4 pattern distinti di infortunio (dal più frequente al meno frequente):

- 1) Avambraccio pronato con stress assiale e in valgo a gomito esteso, spalla flessa e abdotta, corpo ruotato internamente rispetto all'avambraccio. È tipico di giocatori di football e wrestling (fig.4-A).
- 2) Stress assiale ed in valgo ad avambraccio ruotato esternamente e spalla estesa. Tipico del pattinaggio in linea (fig.4-B).
- 3) Come il pattern 1 ma con spalla in iperflessione. Avviene nel sollevamento pesi (fig.4-C).
- 4) Stress estrinseco in varo a gomito flesso dovuto a contatti con altri atleti. È stato osservato nel football e nel wrestling (fig.4-D).

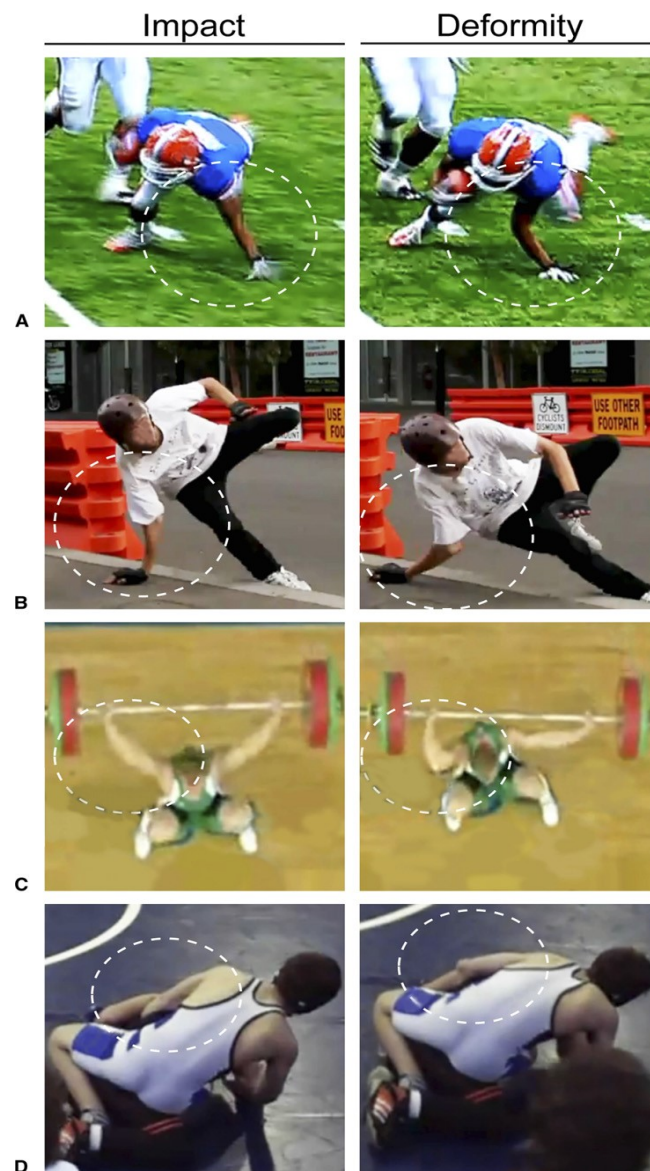


Figura 4: pattern di lussazione

Il meccanismo di lesione più frequente (pattern 1) produce forze consistenti col meccanismo di PLRI. Tuttavia l'autore ha notato che mentre la rotazione esterna era generalmente minima, lo stress in valgo immediatamente successivo al contatto al suolo era predominante. Questo suggerisce che in alcuni casi la rottura del MCL (e principalmente del aMCL) potrebbe essere necessaria prima della lussazione dell'articolazione. La lussazione acuta di gomito potrebbe essere dovuta ad un'instabilità acuta in valgo e quindi essere distinta in natura e meccanismo dal PLRI.

4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti è possibile effettuare alcune considerazioni. La principale forma di prevenzione per le lesioni di gomito, comune a tutti gli sport, è il controllo della tecnica del gesto atletico: una tecnica non appropriata porta ad un sovraccarico delle strutture del gomito e a tutte le patologie ad esso correlate. A tal proposito, la catena cinetica deve essere valutata in tutta la sua globalità dato che un suo deficit porta ad un maggiore stress sul gomito e in modo principale sulle strutture medialali.

Nel tennis, per esempio, l'insorgenza della tendinopatia laterale di gomito è stata associata ad una differenza della posizione del polso nel rovescio al momento dell'impatto con la pallina: i novizi, più colpiti dalla patologia, colpiscono la palla con polso flesso, al contrario di giocatori esperti che prima dell'impatto estendono il polso.

Il deficit di ROM è un altro fattore da tenere in considerazione: nei giovani lanciatori e negli adolescenti una differenza di ROM tra arto dominante e controlaterale $>15^\circ$ di adduzione orizzontale e $>13^\circ$ di rotazione interna aumenta il rischio di infortunio di spalla e gomito di 4-6 volte. Nei giocatori adulti invece è il deficit di ROM totale di rotazione $>6^\circ$ ad essere un fattore di rischio negli infortuni. Il deficit di intrarotazione (GIRD) ha un ruolo controverso: sebbene sia presente anche in soggetti sani, per questioni biomeccaniche è considerato un potenziale fattore di rischio. Sono necessari studi di elevata qualità per risolvere la questione. Alla luce di queste considerazioni potrebbe essere utile un programma di stretching mirato, conforme all'età del soggetto, al fine di ridurre il deficit di ROM.

Nei giovani lanciatori il principale fattore di rischio è il sovraccarico. La principale forma di prevenzione è la limitazione del numero di lanci all'interno della partita e nell'intera stagione. Sono considerati fattori di rischio anche la fatica e lo scarso controllo della tecnica di lancio. Soggetti con storia di dolore all'arto superiore hanno mostrato maggior forza dei muscoli intrarotatori di spalla e relativa debolezza dei muscoli posteriori (sovraspinoso e trapezio medio). Nonostante non sia chiaro se questo sia causa o conseguenza dell'infortunio è importante impostare un programma di rinforzo dei muscoli posteriori di spalla. Per quanto riguarda la tipologia di lancio, non c'è differenza di pericolosità tra palle curve e palle veloci. Altri fattori di rischio sono il peso, l'altezza, la velocità della palla e la massima rotazione esterna di spalla, ma gli stessi autori li ritengono fattori poco controllabili.

Nelle ginnaste, individuato il principale meccanismo lesionale (caduta con braccio teso), al fine di prevenire lesioni di gomito, sono consigliati adeguati dispositivi di sicurezza e addestramento delle atlete a diverse strategie di caduta, come il rotolamento e la caduta in posizione raggruppata.

Analoghe considerazioni circa le strategie preventive, possono essere fatte per le lussazioni di gomito in generale, poiché la modalità di traumatismo è la medesima. Inoltre, alla luce dei nuovi studi, è stato ipotizzato che una debolezza del MCL potrebbe favorire la lussazione.

Il rinforzo dei muscoli flessore ulnare del carpo e flessore superficiale delle dita, considerati stabilizzatori secondari di gomito, riveste un ruolo controverso nelle strategie di prevenzione delle lesioni del MCL: sebbene alcuni autori sostengano che un loro rinforzo potrebbe rappresentare un fattore protettivo per il legamento, tali muscoli sembrano non avere una sezione trasversa tale da contrastare le sollecitazioni meccaniche generate dal lancio.

In conclusione, si può affermare che le principali strategie di prevenzione delle lesioni di gomito sport-correlate riguardino un adeguato controllo della tecnica e la riduzione dei deficit di forza e di mobilità. Per quanto riguarda i giovani lanciatori è consigliato limitare il numero di lanci e più in generale il sovraccarico. Per far fronte a traumi acuti è indicato utilizzare adeguati dispositivi di sicurezza e un addestramento a differenti strategie di caduta.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Alcid, J. G., Ahmad, C. S., & Lee, T. Q. (2004). Elbow anatomy and structural biomechanics. *Clinics in sports medicine*, 23(4), 503-517.
2. Bethapudi, S., Robinson, P., Engebretsen, L., Budgett, R., Vanhegan, I. S., & O'Connor, P. (2013). Elbow injuries at the London 2012 Summer Olympic Games: demographics and pictorial imaging review. *American Journal of Roentgenology*, 201(3), 535-549.
3. Bunata, R. E., Brown, D. S., & Capelo, R. (2007). Anatomic factors related to the cause of tennis elbow. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 89(9), 1955-1963.
4. Ciccotti, M. C., Schwartz, M. A., & Ciccotti, M. G. (2004). Diagnosis and treatment of medial epicondylitis of the elbow. *Clinics in sports medicine*, 23(4), 693-705.
5. Davidson, P. A., Pink, M., Perry, J., & Jobe, F. W. (1995). Functional anatomy of the flexor pronator muscle group in relation to the medial collateral ligament of the elbow. *The American journal of sports medicine*, 23(2), 245-250.
6. Davis, J. T., Limpisvasti, O., Fluhme, D., Mohr, K. J., Yocum, L. A., ElAttrache, N. S., & Jobe, F. W. (2009). The effect of pitching biomechanics on the upper extremity in youth and adolescent baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 37(8), 1484-1491.
7. Dugas, J. R. (2010). Valgus extension overload: diagnosis and treatment. *Clinics in sports medicine*, 29(4), 645-654.
8. Dun, S., Loftice, J., Fleisig, G. S., Kingsley, D., & Andrews, J. R. (2008). A biomechanical comparison of youth baseball pitches is the curveball potentially harmful?. *The American journal of sports medicine*, 36(4), 686-692.
9. Elliott, B., Fleisig, G., Nicholls, R., & Escamilla, R. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(1), 76-87.
10. Eygendaal, D., & Safran, M. R. (2006). Postero-medial elbow problems in the adult athlete. *British journal of sports medicine*, 40(5), 430-434.

11. Eygendaal, D., Rahussen, F. T. G., & Diercks, R. L. (2007). Biomechanics of the elbow joint in tennis players and relation to pathology. *British journal of sports medicine*, 41(11), 820-823.
12. Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Cutter, G. R., Weber, A., Loftice, J., McMichael, C., ... & Lyman, S. (2011). Risk of Serious Injury for Young Baseball Pitchers A 10-Year Prospective Study. *The American journal of sports medicine*, 39(2), 253-257.
13. Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Dillman, C. J., & Escamilla, R. F. (1995). Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *The American journal of sports medicine*, 23(2), 233-239.
14. Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (1999). Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *Journal of biomechanics*, 32(12), 1371-1375.
15. Fleisig, G. S., Weber, A., Hassell, N., & Andrews, J. R. (2009). Prevention of elbow injuries in youth baseball pitchers. *Current sports medicine reports*, 8(5), 250-254.
16. Gabel, G. T. (2001). Operative management of ulnar neuropathy at the elbow in the throwing athlete. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 9(4), 225-233.
17. Garrison, J. C., Cole, M. A., Conway, J. E., Macko, M. J., Thigpen, C., & Shanley, E. (2012). Shoulder range of motion deficits in baseball players with an ulnar collateral ligament tear. *The American journal of sports medicine*, 40(11), 2597-2603.
18. Glousman, R. E., Barron, J., Jobe, F. W., Perry, J., & Pink, M. (1992). An electromyographic analysis of the elbow in normal and injured pitchers with medial collateral ligament insufficiency. *The American journal of sports medicine*, 20(3), 311-317.
19. Han, K. J., Kim, Y. K., Lim, S. K., Park, J. Y., & Oh, K. S. (2009). The effect of physical characteristics and field position on the shoulder and elbow injuries of 490 baseball players: confirmation of diagnosis by magnetic resonance imaging. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 19(4), 271-276.
20. Herbertsson, P., Josefsson, P. O., Hasserius, R., Karlsson, C., Besjakov, J., & Karlsson, M. K. (2005). Displaced Mason type I fractures of the radial head and

- neck in adults: a fifteen-to thirty-three-year follow-up study. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 14(1), 73-77.
21. Huang, Y. H., Wu, T. Y., Learman, K. E., & Tsai, Y. S. (2010). A comparison of throwing kinematics between youth baseball players with and without a history of medial elbow pain. *Chin J Physiol*, 53(3), 160-166.
 22. Kibler, W. B., & Sciascia, A. (2004). Kinetic chain contributions to elbow function and dysfunction in sports. *Clinics in sports medicine*, 23(4), 545-552.
 23. Le Huec, J. C., Schaefferbeke, T., Chauveaux, D., Rivel, J., Dehais, J., & Le Rebeller, A. (1995). Epicondylitis after treatment with fluoroquinolone antibiotics. *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume*, 77(2), 293-295.
 24. Lyman, S., Fleisig, G. S., Andrews, J. R., & Osinski, E. D. (2002). Effect of pitch type, pitch count, and pitching mechanics on risk of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 30(4), 463-468.
 25. Lyman, S., Fleisig, G. S., Waterbor, J. W., Funkhouser, E. M., Pulley, L., Andrews, J. R., ... & Roseman, J. M. (2001). Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1803-1810.
 26. McCue, F. C., Alexander, E. J., & Baumgarten, T. E. (1996). Median nerve entrapment at the elbow in athletes. *Operative Techniques in Sports Medicine*, 4(1), 21-27.
 27. Morrey, B. F., & An, K. N. (1983). Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint. *The American journal of sports medicine*, 11(5), 315-319.
 28. N. Marshall, R., & Elliott, B. C. (2000). Long-axis rotation: the missing link in proximal-to-distal segmental sequencing. *Journal of sports sciences*, 18(4), 247-254.
 29. Nissen, C. W., Westwell, M., Öunpuu, S., Patel, M., Solomito, M., & Tate, J. (2009). A biomechanical comparison of the fastball and curveball in adolescent baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 37(8), 1492-1498.
 30. Norwood, L. A., Shook, J. A., & Andrews, J. R. (1981). Acute medial elbow ruptures. *The American journal of sports medicine*, 9(1), 16-19.

31. O'driscoll, S. W., Bell, D. F., & Morrey, B. F. (1991). Posterolateral rotatory instability of the elbow. *J Bone Joint Surg Am*, 73(3), 440-446.
32. Olsen, S. J., Fleisig, G. S., Dun, S., Loftice, J., & Andrews, J. R. (2006). Risk factors for shoulder and elbow injuries in adolescent baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 34(6), 905-912.
33. Park, M. C., & Ahmad, C. S. (2004). Dynamic contributions of the flexor-pronator mass to elbow valgus stability. *J Bone Joint Surg Am*, 86(10), 2268-2274.
34. Petty, D. H., Andrews, J. R., Fleisig, G. S., & Cain, E. L. (2004). Ulnar Collateral Ligament Reconstruction in High School Baseball Players Clinical Results and Injury Risk Factors. *The American journal of sports medicine*, 32(5), 1158-1164.
35. Polster, J. M., Bullen, J., Obuchowski, N. A., Bryan, J. A., Soloff, L., & Schickendantz, M. S. (2013). Relationship between humeral torsion and injury in professional baseball pitchers. *The American journal of sports medicine*, 0363546513493249.
36. Popchak, A., Burnett, T., Weber, N., & Boninger, M. (2015). Factors Related to Injury in Youth and Adolescent Baseball Pitching, with an Eye Toward Prevention. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 94(5), 395-409.
37. Priest, J. D., & Weise, D. J. (1981). Elbow injury in women's gymnastics. *The American journal of sports medicine*, 9(5), 288-295.
38. Riek, S., Chapman, A. E., & Milner, T. (1999). A simulation of muscle force and internal kinematics of extensor carpi radialis brevis during backhand tennis stroke: implications for injury. *Clinical Biomechanics*, 14(7), 477-483.
39. Rudzki, J. R., & Paletta, G. A. (2004). Juvenile and adolescent elbow injuries in sports. *Clinics in sports medicine*, 23(4), 581-608.
40. Sabick, M. B., Kim, Y. K., Torry, M. R., Keirns, M. A., & Hawkins, R. J. (2005). Biomechanics of the Shoulder in Youth Baseball Pitchers Implications for the Development of Proximal Humeral Epiphysiolysis and Humeral Retrotorsion. *The American journal of sports medicine*, 33(11), 1716-1722.

41. Sabick, M. B., Torry, M. R., Lawton, R. L., & Hawkins, R. J. (2004). Valgus torque in youth baseball pitchers: a biomechanical study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 13(3), 349-355.
42. Schreiber, J. J., Warren, R. F., Hotchkiss, R. N., & Daluiski, A. (2013). An online video investigation into the mechanism of elbow dislocation. *The Journal of hand surgery*, 38(3), 488-494.
43. Shanley, E., Kissenberth, M. J., Thigpen, C. A., Bailey, L. B., Hawkins, R. J., Michener, L. A., ... & Rauh, M. J. (2015). Preseason shoulder range of motion screening as a predictor of injury among youth and adolescent baseball pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 24(7), 1005-1013.
44. Trakis, J. E., McHugh, M. P., Caracciolo, P. A., Busciacco, L., Mullaney, M., & Nicholas, S. J. (2008). Muscle strength and range of motion in adolescent pitchers with throwing-related pain implications for injury prevention. *The American journal of sports medicine*, 36(11), 2173-2178.
45. Udall, J. H., Fitzpatrick, M. J., McGarry, M. H., Leba, T. B., & Lee, T. Q. (2009). Effects of flexor-pronator muscle loading on valgus stability of the elbow with an intact, stretched, and resected medial ulnar collateral ligament. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 18(5), 773-778.
46. Werner, S. L., Fleisig, G. S., Dillman, C. J., & Andrews, J. R. (1993). Biomechanics of the elbow during baseball pitching. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 17(6), 274-278.