



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2012/2013

Campus Universitario di Savona

**Modificazioni strutturali adattative nella spalla
dell'atleta overhead professionista:
implicazioni cliniche.**

Candidato:

Dott. Silvia MORANDI

Relatrice:

Dott. Erica MONALDI

INDICE

<u>1-ABSTRACT</u>	3
1.1 Background	3
1.2 Obiettivo	3
1.3 Metodo di Revisione.....	3
1.4 Risultati	3
1.5 Conclusione	3
<u>2-INTRODUZIONE</u>	4
2.1 Obiettivo	6
<u>3-MATERIALI E METODI</u>	7
3.1 Strategie di Ricerca	7
3.2 Criteri di Eligibilità.....	7
3.3 Criteri di Inclusione.....	8
3.4 Criteri di Esclusione.....	8
<u>4-RISULTATI</u>	9
4.1 Processo di Selezione.....	9
4.2 Flow Chart.....	10
4.3 Studi Selezionati.....	11
<u>5-DISCUSSIONE</u>	14
5.1 Retroversione Omerale	14
5.2 Cambiamenti Glenoidei.....	19
5.3 Massa Ossea	21
5.4 ROM & Influenza sulla Performance Sportiva	21
5.5 Propriocezione	23
5.6 Età di Inizio dell'Attività Sportiva.....	24
5.7 Infortuni	25
<u>6-CONCLUSIONI</u>	29
<u>7-KEY POINTS</u>	31
<u>8-BIBLIOGRAFIA</u>	32

1. ABSTRACT

1.1 BACKGROUND: gli atleti overhead professionisti, sottopongono la spalla a quotidiane ed intense sollecitazioni fisiche durante l'esecuzione del gesto atletico specifico praticato sia in allenamento che in partita. Queste sollecitazioni iniziano in età adolescenziale e perdurano per tutto il corso della carriera sportiva, determinando nel tempo un sovraccarico che porta allo sviluppo di adattamenti strutturali con modificazioni morfologiche dei tessuti molli e del tessuto osseo. L'interesse in ambito di studio e ricerca clinica negli ultimi anni si è concentrato soprattutto sull'influenza che le sollecitazioni fisiche del gesto atletico hanno sulle componenti ossee della spalla e sulla relazione tra entità del cambiamento e incidenza degli infortuni.

1.2 OBIETTIVO: L'obiettivo di questo lavoro è quello di effettuare una revisione della letteratura attuale, analizzando le modificazioni strutturali adattative sviluppate dagli atleti overhead e come queste siano correlabili all'incidenza di infortuni.

1.3 METODI DI REVISIONE: è stata consultata la letteratura pubblicata negli ultimi 10 anni e presente nei database PEDro, PubMed e Libreria Cochrane, selezionando gli articoli in lingua inglese o italiana, trattanti di retrotorsione omerale, retroversione glenoidea o modificazioni ossee sviluppate da atleti overhead professionisti o adolescenti con pratica sportiva elevata, che analizzassero anche il rapporto tra queste modificazioni e la storia di infortuni. Sono stati esclusi studi con campioni troppo limitati, sportivi occasionali o che non utilizzassero metodiche validate per rilevare le modificazioni acquisite.

1.4 RISULTATI: sono stati selezionati 11 articoli rispondenti ai criteri di ricerca scelti: 2 review, 1 therapeutic case series, 5 cross sectional study, 1 retrospective study, 2 prospective investigation study.

1.5 CONCLUSIONI: una pratica sportiva intensa negli atleti overhead porta, negli anni, all'instaurarsi di modificazioni strutturali adattative nella spalla dominante dell'atleta; le principali risultano essere un aumento dell'angolo di retroversione glenoidea, un rimodellamento 3D dell'orientamento della glena e del cercine ed un aumento della massa e dello spessore osseo che concorrono a migliorarne la resistenza agli sforzi torsionali. Riguardo all'associazione tra modifiche strutturali e l'incidenza di patologie, sembra che un maggiore grado di retroversione della glena e retrotorsione omerale abbiano un impatto positivo sulla riduzione della possibilità di infortunio di un atleta. Infatti queste modificazioni strutturali, che iniziano in adolescenza, portano il giocatore ad un gesto atletico con un minore impatto stressante sulle strutture articolari, riducendo così il rischio di infortuni.

2. INTRODUZIONE

Il lancio è un gesto atletico vigoroso che coinvolge tutto il corpo ed il cui obiettivo finale è creare un'accelerazione della mano per trasmettere velocità alla palla.³

Questo gesto atletico è richiesto in molti sport differenti: baseball, softball, pallavolo, pallamano, lancio del giavellotto, pallanuoto, football americano, tennis ed altri includibili nella categoria "OverHead", cioè sport che richiedano gesti tecnici degli arti superiori al di sopra del capo. Appartiene a questa categoria è anche il nuoto, in cui il movimento richiesto alla spalla durante la bracciata di alcuni stili risulta assimilabile ad un lancio.

Ogni tipo di lancio presenta peculiarità tecniche specifiche, tra questi il gesto più traumatico, più gravoso per la spalla e quindi più studiato in letteratura rimane quello del baseball in cui le forze sviluppate raggiungono picchi di 300-400 N, con velocità angolari $>7000^\circ/\text{s}$, le più alte tra tutte le tipologie di lancio.^{13,20} (Fig.1)

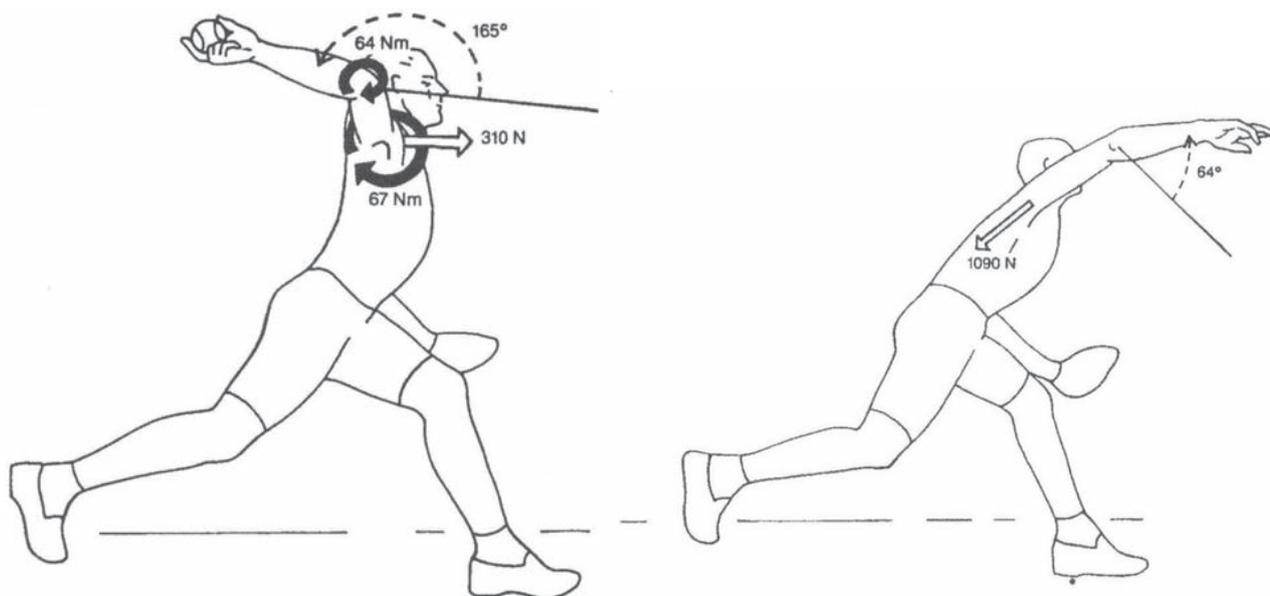


FIG 1 Sulla sinistra: Lanciatore durante la fase di "Late Cocking" del lancio, in questa fase la spalla è pressoché alla massima rotazione esterna e genera una forza di 67 Nm in Intrarotazione e 310 N di forza anteriore. L'avambraccio e la parte distale dell'omero creano un torque in Extrarotazione sull'epifisi prossimale dell'omero. Sulla destra invece: lanciatore dopo la fase di accelerazione e rilascio della pallina; in questa fase il braccio subisce una decelerazione producendo una forza posteriore di 1090 N. (reproduced from Fleisig et al)²⁰

Per imprimere maggior accelerazione alla pallina e lanciarla con forza, bisogna ruotare il braccio alla più alta velocità angolare possibile, il lanciatore andrà quindi a ricercare il maggior arco di movimento concessogli dalla spalla, forzandola in una posizione di iperextrarotazione, arrivando in alcuni casi all'iperangolazione nella fase di "late cocking".⁸

Questo meccanismo microtraumatico si ripete allenamento dopo allenamento, stagione dopo stagione e inizia nella maggior parte dei casi durante il periodo della crescita, cioè

quando lo sviluppo osseo non si è concluso e lo scheletro non è ancora maturo, porta col tempo a cambiamenti strutturali e funzionali a carico della spalla e spesso anche ad infortuni.

Studi effettuati sui lanciatori hanno mostrato come nell'arto dominante si sviluppi, oltre ad una fisiologica ipertrofia muscolare, anche un aumento del volume e della densità di massa ossea. La principale modifica riscontrata risulta però a livello del range totale di movimento rotatorio, che rispetto all'arto controlaterale viene traslato a favore dell'extrarotazione, senza andare ad aumentare il ROM totale. Questo significa che ad un aumento del movimento in extrarotazione si associa una diminuzione del ROM in intrarotazione (denominato in letteratura GIRD: Glenohumeral IntraRotation Deficit) ed anche in adduzione orizzontale.^{12,26,30}

In passato tale modificazione era attribuita ad un'alterazione dei tessuti molli articolari e periarticolari, accoppiando a rigidità e retrazione del comparto posteriore (capsula, legamento glenomero-postero-inferiore, muscolatura posteriore) uno stiramento o una lassità delle controparti anteriori.^{8,9,30,47} Attualmente sempre più studi tendono ad attribuire queste alterazioni funzionali a cambiamenti nell'architettura dell'osso ed in particolare all'angolo di retroversione omerale.^{31,12,34,36,38}

Nei lanciatori il numero di infortuni e lesioni secondarie alla pratica sportiva risulta molto elevato: SLAP lesion, impingement interno, infiammazioni, lesioni tendinee e legamentose sono alcune delle più frequenti.^{16,35}

Questi infortuni possono derivare da cause acute o cronico-degenerative. Le seconde derivano principalmente da overuse, tecniche di lancio scorrette, predisposizioni anatomiche individuali o alterazioni anatomiche acquisite, anche se molto spesso le cause sono da considerarsi multifattoriali.

A questo proposito il ruolo delle modificazioni acquisite ed in particolare il ruolo dell'angolo di retroversione omerale risulta controverso.

Alcuni autori, come ad esempio Crockett¹² e Pieper³⁶, sostengono che queste modificazioni ossee abbiano un ruolo protettivo per la spalla e quando presenti, siano associate ad una minor incidenza di lesioni. Altri autori invece, come ad esempio Ellenbecker¹⁸, sostengono che un maggior angolo di retroversione porti ad una ridotta abilità di controllo, aumentando la traslazione omerale e stressando così maggiormente le strutture articolari, causando a lungo termine dolore e insorgenza di patologie.

2.1 OBIETTIVO

Obiettivo di questa tesi è quindi effettuare un'analisi dello stato dell'arte raggiunto in letteratura riguardo alle modificazioni strutturali che si sviluppano nella spalla degli atleti, in seguito alla ripetizione negli anni dei gesti sport-specifici, e su come queste possano influenzare in maniera positiva o negativa la comparsa e l'evoluzione delle patologie a carico della spalla.

3. MATERIALI E METODI

3.1 STRATEGIA DI RICERCA

La ricerca degli articoli è stata effettuata attraverso i seguenti database:

- PEDro (Physiotherapy Evidence Database)
- Cochraine Library
- MEDLINE (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online) tramite il suo PubMed

Si è sviluppata dal luglio 2013 fino al 31 marzo 2014.

Per la ricerca nei primi due database citati, sono state utilizzate le parole chiave:

- *Humeral Retroversion*
- *Humeral Retrotorsion*
- *Glenoid Retroversion*
- *Retrotorsion*
- *Retroversion*

mentre nel database di Medline è stata usata la stringa di ricerca:

- *(shoulder OR humeral OR glenoid OR glenohumeral) AND (professional overhead athletes OR volleyball OR baseball OR swimmer OR tennis OR football OR javelin OR handball players OR throwing OR elite overhead athletes) AND (adaptation OR change OR modifications OR retroversion OR torsion OR thickness OR retro torsion)*

E' poi stata eseguita una ricerca manuale e concessa l'inclusione di ulteriori studi trovati in letteratura o tra le citazioni degli articoli considerati rilevanti per la completezza dello studio.

3.2 CRITERI DI ELEGGIBILITA'

Sono stati utilizzati inoltre i seguenti limiti:

- Articoli pubblicati negli ultimi 10 anni
- Articolo scritto in lingua inglese o italiana
- Esclusione di case-study singoli o studi su cadaveri

Per essere inclusi gli studi dovevano incontrare i seguenti criteri riguardanti tipologia di partecipanti:

<u>3.3CRITERI DI INCLUSIONE</u>	<u>3.4CRITERI DI ESCLUSIONE</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Atleti professionisti o adolescenti con una pratica settimanale minima di almeno 2 volte a settimana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Studi effettuati su campioni di sportivi occasionali, con pratica sportiva inferiore alle 2 volte settimanali.
<ul style="list-style-type: none"> • Partecipazione a sport di lancio quali Baseball, Softball, Pallavolo, Pallamano, Pallanuoto, Tennis o altri sport che richiedano gesti ripetuti con l'arto sopra al capo come ad esempio il Nuoto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campioni di studio troppo limitati (inferiori alle 15 persone).
<ul style="list-style-type: none"> • Analisi dell'angolo di retroversione omerale/glenoidea o delle modificazioni ossee effettuata tramite TC, RM, RX o eco graficamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Misurazione dell'angolo di retroversione omerale tramite metodi non validati.
<ul style="list-style-type: none"> • Analisi della storia di infortuni, dolori o problematiche alla spalla o all'arto superiore dominante correlabili alla pratica sportiva o alle modificazioni sviluppate dagli atleti in seguito ad essa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mancanza dei criteri di inclusione.

4. RISULTATI

4.1 PROCESSO DI SELEZIONE

Le strategie di ricerca ha prodotto 254 citazioni: 234 da PubMed e 19 dalla libreria Cochrane, 1 da ricerca manuale mentre sul database PEDro non sono stati trovati risultati inerenti.

Questo numero si è ridotto poi a 157 quando sono stati rimossi gli articoli presenti su entrambi i database e ristretto la ricerca agli ultimi 10 anni di pubblicazione.

Di questi ulteriormente 58 sono stati rimossi sulla base della lettura del titolo perché non attinenti con l'argomento dello studio, quindi 99 studi sono risultati potenzialmente ammissibili.

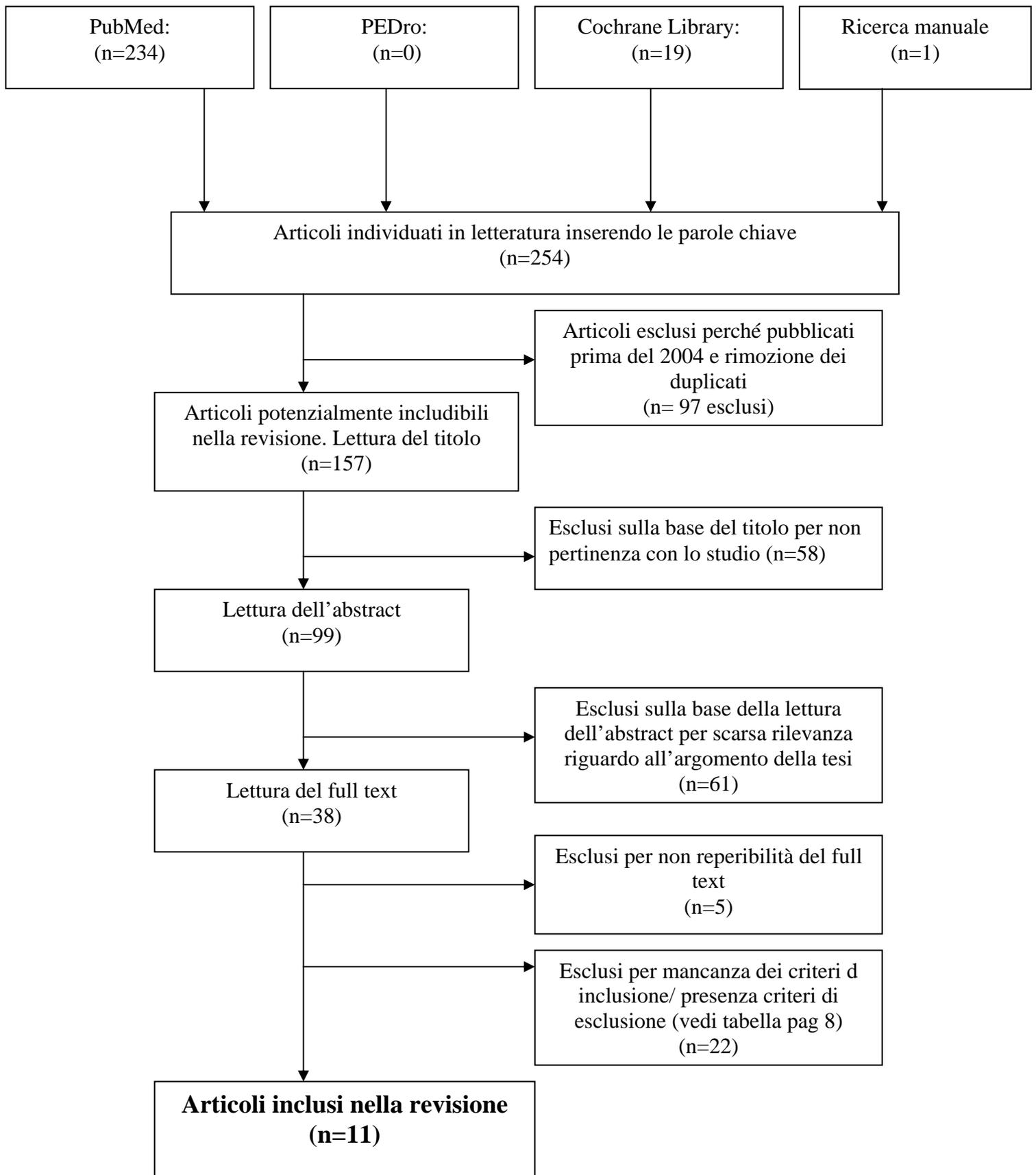
Di questi, sono stati esclusi 61 articoli a seguito della lettura dell'abstract perché di scarsa rilevanza, in quanto trattavano di altri tipi di lesioni o modificazioni, esiti di interventi chirurgici o di protocolli di trattamento.

Per 38 articoli si è quindi passati al processo di lettura del full text; purtroppo per 5 articoli non è stato possibile in alcun modo reperire il testo completo e sono stati quindi esclusi da questa revisione.

I restanti articoli sono stati letti e analizzati e ne sono stati selezionati 11 che rispondessero a tutti i criteri di selezione.

Tutto il processo di revisione è schematizzato nella Flow Chart 1

4.2 FLOW CHART



4.3 STUDI SELEZIONATI

Sono stati quindi selezionati 9 studi di ricerca primaria e due revisioni:

TITOLO E AUTORE	OBIETTIVO	MISURE DI OUTCOME	CONCLUSIONI
<p>1. Relationship Between Humeral Torsion and Injury in Professional Baseball Pitchers Joshua M. Polster³⁷ 2013 <i>Prospective Cohort Study</i></p>	<p>Verificare come la retrotorsione omerale sia inversamente proporzionale a incidenza e severità di infortuni nella spalla dei lanciatori di baseball professionisti.</p>	<p>25 professional baseball players:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TC per misurare HT, versione glenoidea e minima distanza glenoide-trochite • 2anni follow up per infortuni e giorni di persi di attività 	<p>Correlazione inversa importante è stata trovata tra valore di HT dell'arto dominante e incidenza di infortuni, moderata tra HT e severità di questi. Nessuna correlazione con l'incidenza di infortuni è invece stata trovata né per il grado di versione glenoidea né per la minima distanza glenomerale.</p>
<p>2. A Comparison of Glenoid Morphology and Glenohumeral Range of Motion Between Professional Baseball Pitchers With and Without a History of SLAP Repair Brett A. Sweitzer⁴⁶ 2012 <i>Therapeutic Case Series</i></p>	<p>Verificare l'ipotesi che i lanciatori di baseball con storia di lesione SLAP abbiano un minor angolo di retroversione ed inclinazione glenoidea, minor ROM in IR e ADD orizzontale rispetto ai giocatori che non hanno sviluppato questa patologia.</p>	<p>58 lanciatori di baseball professionisti:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ROM passivo IR/ER/ADDorizz (90°abd) • RX con fluoroscopia per misurare retroversione e inclinazione superiore glenoidea • Questionario sulla storia sportiva e di infortuni 	<p>L'angolo di retroversione glenoidea è aumentato nell'arto dominante e svolge un ruolo protettivo nei confronti delle lesioni di spalla. Incrementi minori sono maggiormente associati a lesioni SLAP. Nessuna correlazione è stata trovata tra Rom e retroversione e tra inclinazione glenoidea ed infortuni.</p>
<p>3. Humeral Retrotorsion in Collegiate Baseball Pitchers With Throwing-Related Upper Extremity Injury History Joseph B. Myers³² 2011 <i>Cross-Sectional Study</i></p>	<p>Confrontare il valore di retroversione omerale dei due arti e la loro differenza in lanciatori di baseball del college con e senza storia di infortuni correlati al lancio.</p>	<p>40 lanciatori collegate l°division baseball:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ROM passivo IR/ER (a 90° abd) • ECO* per misurare HT • Questionario sulla storia di infortuni degli ultimi tre anni 	<p>Nessuna correlazione rilevante è stata trovata tra valore di HT e incidenza infortuni alla spalla, mentre valori maggiori di HT sarebbero associati a maggior incidenza di infortuni al gomito.</p>
<p>4. Mid-humerus adaptation in fast pitch softballers and the impact of throwing mechanics Elizabeth D. Bogenschutz³ 2011 <i>Cross-Sectional Cohort Study</i></p>	<p>Investigare la magnitudo delle modificazioni ossee nella diafisi dell'omero e le correlazioni col ruolo e con la meccanica di lancio in giocatrici adolescenti di softball.</p>	<p>15 lanciatrici di softball e 15 ragazze pari età di controllo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ROM attivo IR/ER (a 90°abd) • Forza isocinetica in IR/ER • TC per misurare massa ossea, struttura e densitometria 	<p>Sono stati riscontrati adattamenti nella forma dell'osso, con aumento della massa, struttura e resistenza. Questi cambiamenti sono doppi in coloro che lanciano al di sopra della testa piuttosto di chi effettua lanci da sotto,</p>

		<ul style="list-style-type: none"> • Questionario sulla storia sportiva e personale 	rendendole molto più esposte al rischio di fratture.
5. Effective Glenoid Version in Professional Baseball Players Mark C. Drakos ¹⁵ 2010 <i>Retrospective Study</i>	Verificare se la retroversione glenoidea e quella capsulolabrale differiscano tra i giocatori di baseball e la popolazione generale e se questi valori siano implicati nello sviluppo dell'impingement interno.	38 giocatori professionisti della Major League di baseball con diagnosi di dolore alla spalla e 35 persone non sportive con diagnosi di dolore alla spalla (gruppo di controllo): <ul style="list-style-type: none"> • RM per misurare versione, versione capsulolabrale e profondità glenoidea 	I lanciatori sviluppano modificazioni sia ossee che dei tessuti molli (labbro) che concorrono ad un cambiamento 3D della forma della glena (maggior retroversione e profondità) causando cambiamenti complessi rispetto a quelli omerali e con rapporto con gli infortuni difficilmente identificabile.
6. Reduced humeral torsion predicts throwing-related injury in adolescent baseballers Rod J.Whiteley ⁵¹ 2010 <i>Prospective Investigation</i>	Indagare le relazioni tra il grado di HT dell'arto dominante e non negli atleti e l'incidenza di infortuni dovuti al lancio in un periodo di 30 mesi.	35 atleti dell'"Institute Of Sport Baseball Programme": <ul style="list-style-type: none"> • ECO* per misurare HT • Follow up a 30 mesi per infortuni e giorni di attività persi 	Valori inferiori di HT nell'arto non dominante sono correlati con maggior incidenza di infortuni nell'arto dominante.
7. Sports Participation and Humeral Torsion Rod J.Whiteley ⁵⁰ 2009 <i>Cross-Sectional Study</i>	Confrontare la differenza in HT tra lanciatori di diverso sesso, adolescenti ed adulti, negli adolescenti tra lanciatori e nuotatori e tra gli atleti ed i non atleti.	217 persone: Adolescenti: <ul style="list-style-type: none"> • 29 nuotatori • 35 giocatori di baseball M • 37 giocatrici di softball F Adulti dall'"Australian Master Games": <ul style="list-style-type: none"> • 85 giocatori di baseball • 16 giocatrici di softball 16 non atleti <ul style="list-style-type: none"> • ECO* per misurare HT 	Negli atleti l'angolo di HT è statisticamente maggiore rispetto ai non atleti, mentre in chi pratica sport non si rileva differenza né tra i sessi, né tra adulti ed adolescenti. Nei nuotatori questo angolo risulta essere minore rispetto ai quello sviluppato dai lanciatori e sono ugualmente presenti differenze tra lato dominante e non, nonostante la simmetria dello sport.
8. Humeral torsion and passive shoulder range in elite volleyball players Laura M. Schwab ⁴⁵ 2009 <i>Cross Sectional Study</i>	Verifica delle modificazioni adattative sviluppate nella pallavolo in seguito alla pratica sportiva, correlazione tra queste e la storia di infortuni e performance sportiva e confronto con le modificazione riscontrate in altri sport overhead.	24 giocatori Maschi della nazionale australiana e dell'"Australian Institute of Sport": <ul style="list-style-type: none"> • ROM passivo IR/ER con inclinometro e misurazione del ROM dalla posizione neutra di HT (ER/IR) • ECO* per misurare HT • Questionario sulla storia sportiva e di 	L'aumento del valore di HT è paragonabile a quello riscontrato in altri sport. Il ROM totale risulta ridotto, con diminuzione dell'ER ed aumento dell'IR da posizione di HT neutra. E' stata trovata una correlazione inversa tra età di inizio della pratica sportiva e quantità di HT

		<p>infortuni</p> <ul style="list-style-type: none"> • Questionario sull'abilità di attacco del giocatore compilato dall'allenatore • Misurazione del picco di velocità in battuta. 	<p>svilupata. Atleti con storia di infortuni risultano avere un diminuito ROM in ER dalla posizione neutra di HT nell'arto non dominante rispetto agli atleti senza storia di infortuni, nessuna correlazione è stata trovata invece tra HT e performance sportiva.</p>
<p>9. Shoulder proprioception is associated with humeral torsion in adolescent baseball players R.J. Whiteley⁴⁹ 2008 <i>Cross Sectional Study</i></p>	<p>Verificare se ci sia relazione tra grado di HT e quantità di propriocezione in lanciatori di baseball adolescenti.</p>	<p>16 Adolescenti Maschi praticanti Baseball ad elevato livello:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ECO* per misurare HT • Misurazione della quantità di propriocezione in ER attiva a 90°abd tramite strumentazione AMEDA 	<p>Rilevanza statistica è stata riscontrata tra l'aumento di HT e una migliore propriocezione nell'arto non dominante, mentre per l'arto dominante questo valore risultava senza rilevanza statistica.</p>
<p>10. Shoulder injuries in skeletally immature throwers: review and current thoughts James Leonard²⁷ 2010 <i>Review</i></p>	<p>Analizzare i principali meccanismi traumatici e le principali patologie sviluppate dai giocatori di baseball adolescenti.</p>		<p>L'incidenza delle patologie di spalla e degli infortuni tra gli adolescenti è in crescita. Si possono dividere principalmente in traumatiche-acute, dovute la maggior parte delle volte a cadute e trattate conservativamente con ottimi risultati, e croniche, causate dagli stress torsionali ripetuti dovuti all'esecuzione del gesto tecnico, che andrebbero prevenute tramite istituzione di linee guida sulla quantità di attività massima consentita in base all'età.</p>
<p>11. Mobility and Stability Adaptations in the Shoulder of the Overhead Athlete. A Theoretical and Evidence-Based Perspective Paul A. Borsa⁵ 2008 <i>Review</i></p>	<p>Descrivere e analizzare i principali cambiamenti adattativi riscontrati in letteratura riguardo alla spalla dei giocatori overhead a livello di mobilità, stabilità, alterazione dei tessuti molli e a livello strutturale.</p>		<p>E' stata riscontrata un'alterazione del ROM con diminuzione dell'IR e ADD orizzontale ed aumento dell'ER, mentre non ci sono evidenze della presenza di contrattura o retrazione delle strutture capsulari o muscolari posteriori e di come queste possano influenzare la mobilità. Il ROM traslazionale risulta simmetrico tra i due arti, permettendo di smentire la teoria dell'iperlassità acquisita, mentre è stato dimostrato un aumento dell'angolo di retroversione omerale che sembrerebbe essere causa dell'alterazione del ROM e potrebbe ridurre lo sviluppo di patologie anche se le evidenze sono ancora inconclusive.</p>

*Misurazione ultrasuonografica dell'angolo di retroversione omerale, tecnica descritta e validata secondo gli studi di Yamamoto⁵², Myers³¹ e Whiteley⁴⁸.

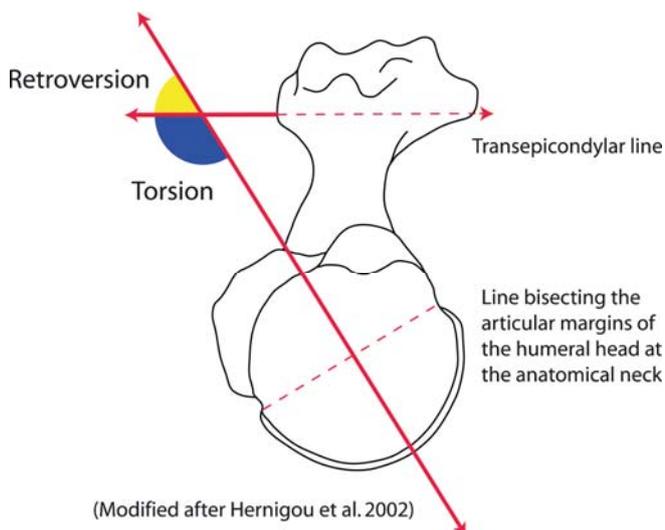
5. DISCUSSIONE

L'analisi della letteratura, ci consente di confermare come atleti overhaed sviluppino durante il corso della loro carriera sportiva modifiche strutturali adattative nel loro arto dominante. Queste avvengono principalmente a livello della morfologia dell'omero, dell'orientamento della glena e della composizione di massa ossea, alterando il ROM rotatorio, la propriocezione ed influenzando la comparsa di patologie e l'incidenza di infortuni.

5.1 RETROVERSIONE OMERALE

Il termine retroversione omerale indica la differenza angolare che si forma lungo l'asse dell'omero tra l'orientamento della testa omerale e quello dell'epifisi distale omerale.

L'angolo formato viene misurato nel piano trasversale, dall'intersezione tra la perpendicolare alla linea passante per la superficie articolare della testa omerale e il prolungamento della linea passante per l'asse transepicondylare a livello del gomito.^{19,22,23,25,39} (Fig.2)



(Modified after Hernigou et al. 2002)

FIG 2 La Torsione Omerale (in blu) corrisponde al valore dell'angolo formato dalla bisettrice alla retta passante per il margine articolare alla testa dell'omero (misurata a livello del collo anatomico) e la retta passante per i due condili distali dell'omero. In letteratura l'angolo in giallo è definito retroversione omerale e si misura nella direzione opposta a quello di torsione. (Reproduced from Roach et al)⁴⁰

Negli adulti questo angolo si aggira attorno ai 20°-30°, viene determinato principalmente da fattori genetici^{21,28} e non si riscontrano differenze significative tra arto dominante e non.^{3,10,12,36,50}

Dalla nascita fino alla completa maturazione ossea questo angolo subisce una diminuzione del suo valore. Alla nascita infatti presenta il suo valore massimo e man mano decresce, subendo un processo di detorsione durante l'età dello sviluppo, fino a raggiungere il suo valore definitivo al raggiungimento dell'età adulta.¹⁷ Facendo riferimento ai 20°-30° medi riscontrati nella popolazione generale possiamo definire anterotorsione o antiversione la presenza di angoli inferiori e retroversione o retrotorsione la presenza di angoli superiori.

Oltre che da fattori genetici individuali, questo angolo è influenzato dalle sollecitazioni esterne che vi sono applicate durante il periodo dello sviluppo scheletrico.

L'80% della crescita longitudinale dell'omero deriva infatti da un unico nucleo di ossificazione epifisario situato nella sua parte prossimale. Questo centro epifisario si crea verso i 5-7 anni di età dall'unione di tre centri più piccoli: quello della grande tuberosità, quello della piccola tuberosità e quello della testa omerale; la sua chiusura avverrà poi alla fine del periodo di crescita ossea, all'incirca verso i 14-17 anni per le femmine e i 16-18 per i maschi.^{11,33} (Fig.3)

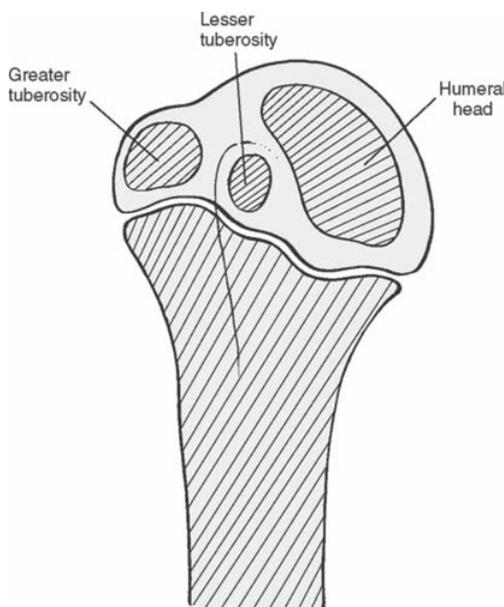


FIG 3 il centro di ossificazione omerale si può già identificare dopo 6 mesi di vita, la grande tuberosità invece tra i 7 mesi ed i 3 anni e la piccola tuberosità tra i 2 e i 5 anni. Questi tre centri si fondono tra loro attorno a i 5-7 anni formando l'epifisi prossimale dell'omero. (Reproduced from O'Brien et al)³³

Durante l'età dello sviluppo, la congiunzione tra il centro di ossificazione diafisario e quello epifisario, è denominata fisi di accrescimento ed è "aperta", risultando così la parte più

debole dell'osso. La fisi è continuamente sottoposta alle forze torsionali che sviluppano i muscoli durante la loro azione e per le sue caratteristiche ha un enorme potenziale rimodellante. Proprio per questo motivo se sottoposta ad attività muscolari intensive, secondarie ad esempio ad attività sportive, può andare incontro a cambiamenti torsionali adattativi, aumentando o diminuendo alcune caratteristiche dell'osso come ad esempio il valore dell'angolo di retroversione omerale (HT).¹²

Questo processo va ad influenzare quindi la normale tendenza dell'omero a diminuire la sua torsione durante il suo accrescimento, favorendolo o rallentandolo.

Quindi riassumendo possiamo individuare due tipi di fattori che influenzano principalmente il valore dell'angolo di retroversione omerale: i fattori genetici interni, di predisposizione individuale, ed i fattori esterni, legati al livello di attività fisica e alle stimolazioni cui viene sottoposto l'omero durante il suo processo di accrescimento.

MISURAZIONE DELL'ANGOLO DI RETROVERSIONE

Per effettuare la misurazione dell'angolo di retroversione omerale si utilizzano principalmente TC o RM e negli ultimi anni si è cominciato ad utilizzare anche l'ecografia di superficie. Attualmente le metodiche migliori, il gold-standard, sono da considerarsi la TC e la RM, ma purtroppo sono tipologie di esami non sempre applicabili a causa della reperibilità limitata dei macchinari, la loro non trasportabilità, gli alti costi necessari per effettuare l'esame e, per quanto riguarda la TC, anche per la presenza di radiazioni cui si deve sottoporre il paziente. Queste caratteristiche le rendono poco adatte per effettuare studi clinici su larga scala o direttamente sul campo. Per risolvere queste problematiche ha preso piede la misurazione dell'angolo di retroversione tramite l'uso di un semplice ecografo e di un inclinometro, metodica studiata da Myers³¹, Whiteley⁴⁸ e Yamamoto⁵² che presenta ottimi valori di riproducibilità e validità, rappresentando una valida alternativa alla TC.

Per effettuare questo tipo di misurazione si posiziona il soggetto supino, con la spalla a 90° di abduzione ed il gomito flesso a 90°. Successivamente si posiziona l'ecografo perpendicolare all'asse dell'omero e parallelo al piano del tavolo e si fa ruotare l'omero fino a quando il solco bicipitale, dove passa il tendine del capolungo del bicipite, che verrà preso come punto di riferimento, risulta centrato nell'immagine ecografica, posizionando le due tuberosità omerali parallele al piano del tavolo. A questo punto con un inclinometro appoggiato sul lato ulnare dell'avambraccio si misura il grado di inclinazione.

L'angolo così formato tra l'avambraccio ed piano orizzontale rappresenta la differenza angolare tra l'asse transepicondilare e la perpendicolare alla linea passante per le due tuberosità, cioè quello che viene considerato l'angolo di retrotorsione omerale. (Fig.4)

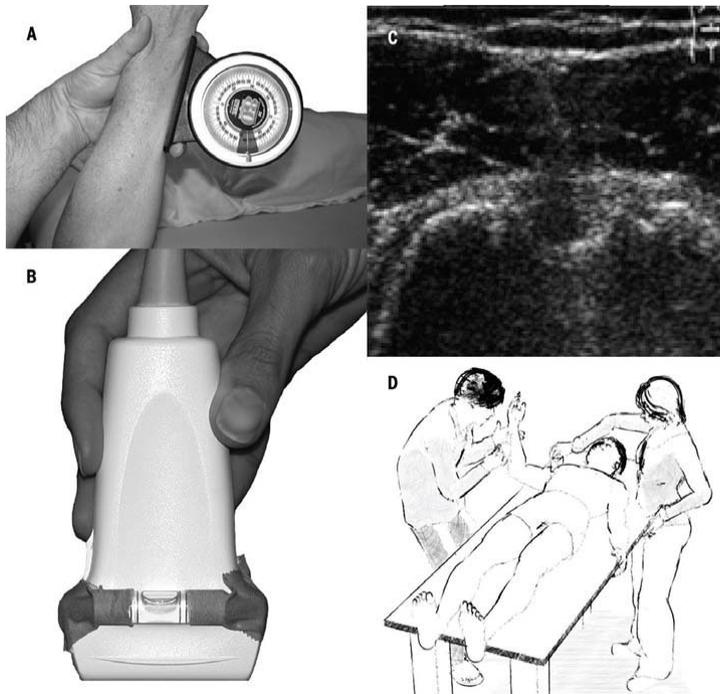


FIG 4 Misurazione della torsione omerale: (A) Misurazione dell'inclinazione dell'ulna (destra). (B) Verifica del corretto allineamento dell'ecografo rispetto alla verticale. (C) Visualizzazione del solco bicipitale e le due tuberosità allineate alla stessa altezza. (D) L'esaminatore sulla destra si assicura del corretto allineamento del solco bicipitale, mentre l'altro esaminatore misura l'inclinazione dell'ulna per misurare la torsione omerale. (Reproduced from Whiteley et al)⁵¹

RETROVERSIONE E LANCIATORI

Nei soggetti non sportivi, o quanto meno non praticanti sport di lancio, nessuna differenza statisticamente significativa nell'angolo di retroversione omerale tra arto dominante e non è stata riscontrata negli studi analizzati.^{3,10,12,36,50}

Nei lanciatori adulti, è stato riscontrato invece un aumento medio del valore di torsione omerale compreso tra i 10° e i 20° nell'arto dominante rispetto a quello non dominante. Rilevazioni paragonabili sono state rilevate sia negli uomini che nelle donne, senza mostrare quindi differenza di sesso, e sia negli adulti che negli adolescenti (misurazione effettuata attorno ai 16 anni di età)⁵⁰. Lo sviluppo di questa differenza nell'angolo di retroversione è stata attribuita all'azione torcente dei muscoli intrarotatori.^{2,4,7,10,12,29,34,36,38,41,42} Il tendine del muscolo sottoscapolare va ad inserirsi sulla piccola tuberosità dell'omero e durante la fase di accelerazione del lancio, cioè quando dalla posizione di massimo caricamento in extrarotazione si riporta il braccio in avanti per andare poi a rilasciare la pallina, imprime forza in intrarotazione alla spalla pari alla 100%

della sua massima contrazione volontaria (MCV). Oltre al sottoscapolare vengono attivati in questa fase anche il grande pettorale ed il gran dorsale che però lavorano solo al 50% della loro MCV e hanno inserzione sull'omero più caudale. Questa differenza di torque e di punto di applicazione della forza è stata ipotizzata essere il meccanismo alla base dell'aumento della retroversione omerale nei lanciatori.⁵⁰ L'importanza dei muscoli intrarotatori per i lanciatori è confermato dall'analisi del loro picco di forza in relazione a quello degli altri muscoli della spalla. L'analisi della forza massima sviluppata mostra subito come il torque degli intrarotatori della spalla dominante sia molto più elevato di quello prodotto dai loro antagonisti o dai loro corrispettivi controlaterali.

Quindi il torque generato dai muscoli intrarotatori durante la fase di accelerazione e l'inerzia data dall'avambraccio e dalla pallina contribuiscono a generare lo stress torsionale che porterà all'aumento dell'angolo di retroversione omerale.

L'età dove si ipotizza avvenga il maggior cambiamento è compresa tra i 12 e i 16 anni di età, quando per la maggior parte degli adolescenti avviene il picco di crescita.

Attualmente è ancora dibattuto se il perdurare di stress torsionali dovuti all'attività agonistica possa modificare ulteriormente questo angolo anche in età adulta.⁵⁰

La quantità di modificazioni sviluppate è risultata simile sia nel baseball, a cui la maggior parte degli studi fanno riferimento, sia nella pallavolo, mentre per le restanti categorie di sport overhead purtroppo non sono stati reperiti studi in letteratura inerenti alla nostra analisi.

Discorso a se stante può essere invece fatto per il nuoto.

Per definizione è stato incluso anch'esso nella categoria degli sport overhead a causa della tipologia di gesto richiesto alla spalla durante la bracciata di alcuni stili, come ad esempio lo stile libero, assimilabile al movimento del lancio. A differenza però degli altri sport di lancio, il nuoto presenta un movimento simmetrico tra i due arti senza una netta dominanza di un lato sull'altro, e risulta essere molto più continuo e ripetitivo come gesto. Questo ci fa ipotizzare che il nuoto risulti in una tipologia di attività meno stressante e con un carico eccentrico a livello articolare inferiore.⁵

Questa categoria di sportivi ha mostrato un aumento di retroversione omerale significativamente maggiore rispetto alla popolazione non sportiva ma inferiore rispetto agli altri sport overhead analizzati, con valori quasi dimezzati. Questo potrebbe essere spiegato da una diversa distribuzione della forza muscolare, infatti se nel gesto del lancio è stata rilevata una predominanza della forza sviluppata dal sottoscapolare rispetto al gran pettorale e al gran dorsale, nel nuoto avviene il contrario. Il gran pettorale ed il gran

dorsale infatti si contraggono al 75% della loro MCV ed il sottoscapolare solo al 60%, diminuendo il valore di torque applicato e generando minor retrotorsione di quanta se ne generi col gesto del lancio classico.⁵⁰ Sempre riguardo al nuoto, una rilevazione inaspettata è stata osservata nello studio di Whiteley⁵⁰ mettendo a confronto il grado di retroversione dell'arto dominante e di quello non e trovando una significativa differenza di lato. Questo dato è in contrasto con la concezione di simmetria attribuita al nuoto. Per dare una spiegazione a questo dato l'autore ha formulato due ipotesi: la prima in cui ipotizza che nonostante il grande carico di allenamento effettuato da questi atleti (il gruppo analizzato percorreva circa 40 Km la settimana) le sollecitazioni applicate al braccio non fossero comunque sufficiente a compensare la maggiore attività svolta dall'arto dominante durante il resto della giornata. Oppure, in seconda ipotesi, che durante la bracciata in realtà la forza erogata non venga generata ugualmente tra i due arti, ma prevalga comunque la spinta dell'arto dominante, generando maggior sovraccarico sulla spalla corrispondente. Purtroppo in letteratura non sono stati rilevati altri studi inerenti con cui poter confrontare questa tipologia di dato e raggiungere una valutazione più certa a riguardo.

5.2 CAMBIAMENTI GLENOIDEI

La fossa glenoidea normalmente presenta un'inclinazione verso l'alto di circa 5° e un angolo di retroversione di circa 2°-6°.⁴⁴

Questa struttura anatomica origina da due diversi centri di ossificazione che compaiono durante la pubertà e si chiudono attorno ai 22 anni di età. Durante il processo di maturazione ossea non si conoscono variazioni fisiologiche importanti nel valore di questi angoli, come invece prima descritto per l'angolo di retroversione omerale, ma nonostante la scarsa quantità di letteratura che analizzi le modificazioni sviluppate dalla glena in seguito all'esecuzione di sport overhead, studi come quelli effettuati da Drakos¹⁵ e Sweitzer⁴⁶ dimostrano come anche la crescita e l'orientamento della glena vengano influenzati dall'attività fisica effettuata dalla spalla.

Quando si parla di angolo di inclinazione glenoidea si intende l'angolo formato tra la retta tangente il polo inferiore e quello superiore della superficie glenoidea e la verticale, mentre per retroversione glenoidea si intende l'angolo formato tra l'asse passante per il corpo

della scapola e la linea perpendicolare al centro della glenoide. (Fig.5) Normalmente viene misurato tramite TC, RM o RX, secondo la metodica descritta da Braunstein.

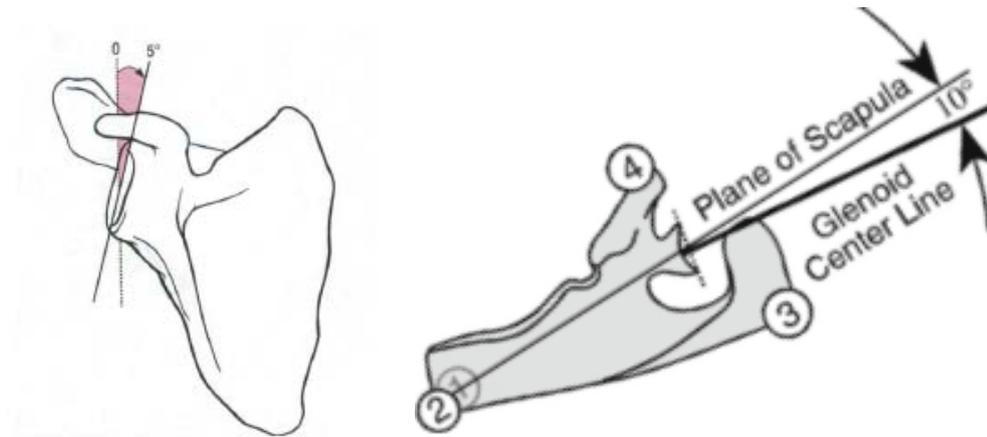


FIG 5(Sinistra) Misurazione dell'angolo di inclinazione glenoidea. (Destra) Misurazione dell'angolo di retroversione glenoidea. (Reproduced from Saha et al)⁴⁴

Dagli studi analizzati, nei lancers sono risultate modificazioni acquisite sia nell'orientamento della glena che dei tessuti molli. Si rileva infatti un aumento di circa 4°-8° dell'angolo di retroversione glenoidea, un aumento di circa 1°-2° dell'angolo di retroversione del complesso capsulo labrale, cioè dell'orientamento del cercine, ed anche un approfondimento della concavità glenoidea di 1-2,5 mm, mentre l'angolo di inclinazione non sembra sviluppare modificazioni statisticamente significative. Le modificazioni appena descritte ci indicano come il rimodellamento non avvenga solo a livello dell'angolo di retroversione glenoideo, come era stato creduto in precedenza, ma come in realtà sia un vero e proprio processo 3D, che va a ri-orientare la superficie articolare, aumentandone la profondità e includendo nel processo anche il cercine.

Sweitzer⁴⁶ in particolar modo ipotizza come omero e glena sviluppino modificazioni all'unisono, rispondendo ad una maggior modificazione sviluppata dall'omero con una maggior modificazione della glena, in modo da mantenere una coerenza reciproca tra le superfici articolari. Questo rapporto, che analizzeremo meglio in seguito parlando di infortuni, è importante perché la quantità di versione glenoidea è in forte relazione con l'instabilità articolare e una mancanza di suo adattamento alle modifiche sviluppate dall'omero favorirebbe lo sviluppo di instabilità posteriore e di SLAP lesion.

5.3 MASSA OSSEA

Oltre alle modificazioni nella morfologia dell'osso descritte in precedenza, in seguito alla pratica sportiva sono state rilevate anche modificazioni nella sua composizione. È stato infatti rilevato nei lanciatori un incremento della massa dell'osso e della sua dimensione, traducendo quindi l'aumento in una maggior resistenza dell'omero alle forze torsionali. L'applicazione di stress ripetuti stimola l'apposizione di nuovo osso sia a livello del periostio che dell'endostio, incrementandone quindi diametro e superficie, senza però cambiare il valore di densità generale dell'osso. Questo aumento avviene in entrambi i sessi e risulta più accentuato negli uomini che nelle donne²⁴, arrivando fino ad aumenti di spessore del 18% della superficie della diafisi omerale ed incrementando del 17-18% il momento di inerzia della sezione della diafisi omerale, intesa come resistenza alle sollecitazioni in torsione e flessione.³

5.4 ROM & INFLUENZA SULLA PERFORMANCE SPORTIVA

Dall'analisi degli studi selezionati si può confermare l'ipotesi precedentemente formulata per cui l'aumento dell'angolo di retrotorsione omerale sia in realtà la causa reale dell'incremento del ROM in extrarotazione tipicamente rilevato negli atleti degli sport di lancio. Dallo studio di Borsa⁵ si evince come non sia possibile reperire in letteratura prove che dimostrino un incremento del grado di traslazione omerale per maggior lassità delle componenti anteriori dell'arto dominante rispetto all'arto non dominante. Quindi non risulta possibile attribuire a questa causa l'aumento del ROM rilevato, mentre correlazione diretta è stata trovata tra incremento della retrotorsione omerale ed aumento dell'extrarotazione. Considerando la posizione in abduzione orizzontale ed extrarotazione in cui si posiziona l'omero alla fine della fase di caricamento del lancio, si può infatti intuire come la maggior torsione creatasi lungo la diafisi dell'omero permetta a parità di posizione della testa omerale rispetto alla glena, di portare la mano più posteriormente, aggiungendo gradi articolari all'extrarotazione. (Fig.6) Questo permette quindi una maggiore quantità di movimento con un minor stress delle strutture articolari responsabili della stabilizzazione passiva, cioè la capsula antero-inferiore ed i legamenti gleno-omerale.

C'è da specificare però che il cambiamento nel ROM appena descritto non costituisce in realtà un incremento puro della quantità di movimento della spalla, ma solo una

traslazione verso l'extrarotazione. L'aumento dell'extrarotazione segnalato risulta infatti compensato da una diminuzione equivalente del ROM in intrarotazione, lasciando in realtà la quantità di movimento totale effettuata dalla spalla pressoché invariata.

Parlando di cambiamenti nella morfologia glenoidea, nessuna relazione è stata invece rilevata tra alterazione del ROM e quantità di modificazioni glenoidee, che devono essere considerate due variabili indipendenti.

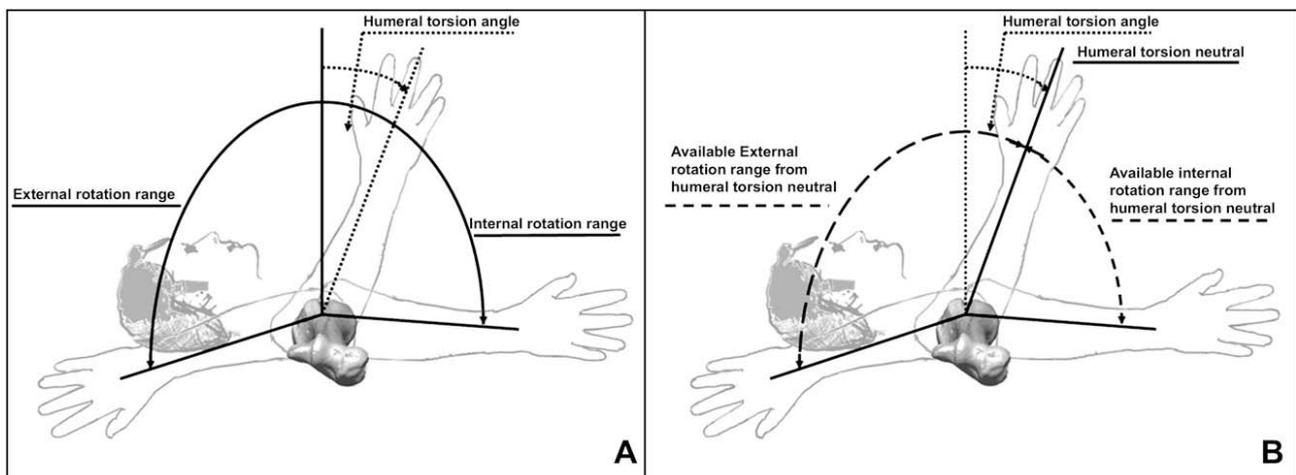


FIG.6 il metodo per determinare la torsione omerale (HT) ed il range di movimento in extrarotazione (ER) ed intrarotazione (IR) sono mostrati nell'immagine di sinistra a destra invece viene mostrato il metodo per calcolare intra (IRHT) ed extrarotazione (ERHT) da HT neutra. (Reproduced from Schwab et al)⁴⁶

Dagli studi analizzati si è potuto constatare come la misurazione del ROM e soprattutto delle sue alterazioni non sia un buon metodo per effettuare uno screening dei soggetti a rischio per gli infortuni. Questo valore può essere facilmente influenzato da diversi aspetti, come ad esempio la tipologia di allenamento, eventuali protocolli di stretching applicati, livello di attività sportiva, flessibilità individuale. Inoltre nessuna differenza significativa di ROM è stata rilevata tra soggetti con storia di infortuni e soggetti sani.

Altro aspetto da considerare è che la maggior parte degli sportivi professionisti rimane sotto il controllo di staff medici e riabilitativi che si occupano di fornire loro percorsi di riabilitazione completi e programmi di prevenzione da attuare, rendendo il ROM molto influenzabile e variabile nel tempo, anche nel corso di una stessa stagione.

L'aumento del range in rotazione esterna durante il caricamento del braccio si è ipotizzato potesse avesse inoltre un altro importante effetto, oltre a quello di diminuire lo stress articolare. A parità di forza muscolare permetterebbe infatti di ottenere un incremento della velocità di lancio della pallina, uno degli aumenti di performance maggiormente ricercati dagli sportivi. Questo grazie al maggior arco di movimento che consentirebbe di avere una fase di accelerazione più lunga ed imprimere maggior forza e velocità alla pallina. Purtroppo analizzando la relazione tra modificazioni strutturali adattative e miglioramento

della performance sportiva, non si è trovato quasi nessun riscontro. Quasi nessun autore ha inserito questo tipo di parametro nell'analisi, solo Schwab⁴⁵ ha provato ad effettuare quest'analisi, ma senza trovare alcun'associazione statisticamente significativa tra maggior valore di retroversione omerale e miglioramento del lancio e della performance sportiva. È comprensibile la difficoltà incontrata dagli autori nell'identificare unità di misura idonee e nell'effettuare misurazioni oggettive per questo parametro ma attualmente possiamo affermare che nessuno studio è in grado di dimostrare un legame tra grado di retroversione acquisita e miglioramento della performance sportiva per mancanza di evidenze.

5.5 PROPRIOCCEZIONE

È stato ipotizzato che una scarsa capacità propriocettiva risulti in una performance di livello più basso ed in una maggior incidenza di infortuni. Purtroppo la maggior parte dei lanciatori sviluppa, in seguito ai microtraumi ripetuti associati al lancio, ridotta capacità propriocettiva nell'arto dominante. Come abbiamo descritto in precedenza, l'aumento di retroversione sviluppato dai lanciatori, risulta essere un adattamento vantaggioso per la pratica sportiva, in quanto aumenta il ROM consentito dalla spalla ottenendo una diminuzione dello stress tissutale. È stato ipotizzato che il minor angolo di retroversione ed il vantaggio strutturale conseguente, risultino in una minor richiesta di controllo cosciente del gesto durante il lancio, aumentandone l'efficienza e liberando capacità corticali, permettendo così di dedicare maggior attenzione all'elaborazione di altre informazioni e variabili rilevate e migliorando quindi la performance globale. La capacità di effettuare un buon gesto tecnico senza bisogno di controllo cosciente, si traduce in un maggior livello di automazione del gesto.

Whiteley⁴⁹ si è occupato dell'analisi del grado di propriocezione dei lanciatori durante la fase di caricamento del gesto. Dalla sua analisi si evince come nell'arto non dominante, ad un maggior angolo di retrotorsione omerale sia associata una miglior propriocezione e tanto maggiore sia quest'incremento, tanto maggiore risulti l'acuità propriocettiva. Questo dato conferma così l'ipotesi prima formulata, istituendo un legame tra retroversione e capacità di controllo motorio. Nel lato dominante purtroppo non è stato possibile trovare un legame statisticamente significativo tra i due parametri, anche se il valore generale di capacità propriocettiva risultava simile a quello del controlaterale. Quest'ultimo dato

risulta in contrasto con i valori rilevati in studi precedentemente pubblicati, dove l'arto dominante dei lanciatori risultava avere un livello propriocettivo molto inferiore rispetto al controlaterale.^{1,6,14,43} Analizzando meglio questa differenza di valore, si potrebbe attribuire alla differenza di età tra i campioni degli studi. Whiteley⁴⁹ ha infatti condotto lo studio su adolescenti con un età media di circa 16 anni, mentre gli altri studi si riferivano a lanciatori adulti. A 16 anni il grado di retroversione risulta sì paragonabile a quello della popolazione adulta, come dimostrato sempre da Whiteley⁵⁰ in un altro studio, ma probabilmente il livello di microtraumatismi a cui è stata sottoposta la spalla non è ancora sufficiente per instaurare meccanismi traumatici tali da diminuire significativamente la capacità propriocettiva.

Purtroppo anche in questo caso non sono stati rilevati ulteriori studi in letteratura con cui approfondire l'analisi.

In ogni caso queste rilevazioni dovrebbero fungere da spunto di riflessione e spingere a porre più attenzione fin dall'età dell'adolescenza alla prevenzione e all'allenamento della propriocezione nell'arto dominante degli atleti, al fine di mantenere nel tempo il vantaggio strutturale naturalmente acquisito.

5.6 ETA' D'INIZIO DELL'ATTIVITA' SPORTIVA

Precedentemente è stata dimostrata l'importante influenza che ha l'applicazione di carichi di lavoro ripetuti sull'evoluzione dello sviluppo scheletrico durante l'età della crescita. Questo dato è strettamente legato all'età di inizio della pratica sportiva e agli anni di sport praticati, infatti prima comincia il carico aggiuntivo sull'osso, più tempo ha quest'ultimo per rimodellarsi, adattandosi agli stimoli e raggiungendo il grado di retroversione più opportuno.

Questa correlazione positiva tra età di inizio precoce dell'attività e livello di torsione omerale viene confermato in letteratura da numerosi studi.^{10,12,18,34,38} Purtroppo tra gli articoli selezionati per questa revisione, solo quello pubblicato da Sweitzer⁴⁶ analizza questo aspetto. Lo studio è stato effettuato su di un gruppo di pallavolisti di alto livello, ma il dato rilevato è risultato inaspettato, infatti non solo non è stata trovata conferma della relazione precedentemente descritta, ma anzi è stata rilevata inaspettatamente una lieve ma significativa correlazione inversa tra età di inizio e valore dell'angolo di retroversione. Purtroppo l'analisi è stata svolta su di un campione piuttosto ridotto, solamente 24

soggetti, e la presenza tra essi di tre outliers, cioè tre soggetti che distano molto come valore dal resto della popolazione, potrebbe avere facilmente alterato il risultato finale. Se si escludono infatti dall'analisi statistica questi tre soggetti, compare una lieve correlazione tra età di inizio della pratica sportiva e grado di retroversione omerale sviluppata, quello che ci si aspettava. Una speculazione aggiuntiva che si può effettuare a riguardo è negli altri studi presenti in letteratura su questo argomento si analizzassero sempre giocatori di baseball, la cui l'età media di inizio della pratica sportiva risultava decisamente inferiore rispetto allo studio in esame, con una media di circa 6 anni contro i 13,3 dello studio di Sweitzer.⁴⁶ Anche questa differenza di età potrebbe aver influito nell'alterare il dato finale dello studio.

Interessante sarebbe quindi approfondire questo tipo di analisi utilizzando campioni più estesi e paragonando le diverse età di inizio dell'attività.

5.7 INFORTUNI

Sul rapporto tra le modificazioni acquisite e l'incidenza di infortuni ci ancora pareri contrastanti. Alcuni autori sostengono che l'aumento del ROM in extrarotazione che deriva dall'aumento dell'angolo di retrotorsione omerale contribuirebbe a diminuire lo stress a cui l'articolazione è sottoposta a parità di forza e velocità sviluppata. Altri autori invece, come ad esempio Ellenbecher¹⁸, sostengono che un maggior angolo di retroversione porti ad una ridotta abilità di controllo da parte della cuffia dei rotatori e quindi causi un'aumentata traslazione omerale durante il lancio stressando maggiormente le strutture articolari e portando a lungo termine alla comparsa di dolore e patologie.

Tra gli studi analizzati in questa revisione, parlando di atleti adulti, Polster³⁷ rileva un'importante correlazione inversa tra grado di retroversione omerale e severità degli infortuni e più precisamente facendo coincidere un minor grado di retroversione con una maggior severità dell'infortunio sviluppato dal lanciatore, misurando la severità in base al numero di giorni di stop dall'attività. Altro dato da lui riscontrato è stata una correlazione, anche se meno forte della prima, tra differenza di retrotorsione tra i due arti ed incidenza di infortuni, con a minor differenza associata maggior severità. Benché al momento non sia possibile trovare evidenze di una correlazione certa tra valore della torsione dell'arto dominante o differenza tra i due arti e lo sviluppo di infortuni in termine di predittività dell'infortunio, si può affermare come ogni 10° di incremento della HT ci sia una

diminuzione del 30% del rischio di infortuni. Lanciatori con 25° di torsione hanno una probabilità di infortunio stimata attorno al 66%, mentre lanciatori con 35° di HT hanno una probabilità che scende al 37%, identificando un punto ideale compreso tra i 35° e i 45° di retroversione totali in cui il rischio di infortuni risulta minimo. Questo perché, come dimostrato da altri prima di lui, la maggior torsione diminuirebbe la forza in trazione e rotazione sulle strutture stabilizzatrici passive della spalla, diminuendone lo stress.

Per quanto riguarda gli adolescenti, maggiore attenzione va data, invece che all'angolo di retroversione, che è ancora in fase di sviluppo, al valore dell'angolo di retroversione dell'arto non dominante. Infatti se il valore di retrotorsione dell'arto dominante rappresenta il contributo genetico individuale più la torsione acquisita con l'attività del braccio, il valore dell'arto non dominante è indicativo solamente della predisposizione genetica individuale. Alcuni autori come ad esempio Whiteley⁵¹ affermano che più che al valore assoluto di retrotorsione sviluppata nell'arto dominante, bisogna concentrare l'attenzione sul valore di retrotorsione dell'altro arto, perché rappresenta il livello da cui il giocatore è partito quando ha iniziato a lanciare e indica il grado di modificazione che ha dovuto sviluppare negli anni. Individui con un minor grado di retroversione nell'arto non dominante mostrano una maggior incidenza di infortuni sia a livello della spalla che a livello del gomito, nonostante il valore di HT dell'arto dominante rimanga in media con quello di altri atleti senza storia di infortuni.

Questi soggetti quindi sono partiti con una struttura ossea più svantaggiosa, più vulnerabile agli stress meccanici e hanno dovuto instaurare un cambiamento maggiore rispetto agli altri, sottoponendo il loro omero a maggiori forze torsionali ed esponendosi così ad un maggior rischio di infortuni.

Si può quindi identificare un ridotto grado di retroversione dell'arto non dominante come un fattore predittivo dello sviluppo di lesioni ed infortuni, così come anche il valore di retrotorsione media tra le due spalle.

Negli adolescenti a volte lo stress torsionale sviluppato durante le sessioni di lancio ripetute, è talmente elevato da generare fratture. Questo perché durante il gesto del lancio, alla fine del caricamento quando il braccio è abdotto, si creano due forze rotatorie opposte tra i due estremi dell'omero: una generata dall'inerzia del braccio che spinge l'estremità distale in extrarotazione e l'altra generata dai muscoli intrarotatori a livello prossimale che spingono per far ripartire il braccio e compiere il lancio vero e proprio. Queste due forze contrapposte generano una differenza di torque così importante a livello dell'osso da risultare in alcuni casi in fratture.

Vanno incontro con maggior facilità a questa tipologia di infortunio i giocatori che risultano avere un ridotto valore di HT di partenza nel lato non dominante, come descritto in precedenza, e coloro che nel corso della loro carriera hanno cambiato ruolo, incrementando rispetto a prima il numero di lanci e la richiesta funzionale alla spalla, senza però darle la possibilità di sviluppare gli adattamenti necessari a sostenere i carichi di lavoro aggiuntivi ed esponendosi così ad un maggior rischio di sviluppare infortuni.

E' importante quindi, soprattutto negli adolescenti con un alto livello di attività eseguire un monitoraggio del grado di retroversione dell'arto non dominante al fine di valutare il rischio di infortuni ed eventualmente impostare programmi di lavoro controllati al fine di prevenirli, controllando il volume degli allenamenti. Molta importanza bisognerebbe dare a future ricerche in questo ambito, attribuendo un ruolo più consistente all'analisi del valore di baseline dell'arto non dominante.

Ritornando a parlare di adulti, ma sempre concentrandosi sull'arto non dominante, un ulteriore ma importante dato è stato rilevato da Schwab⁴⁵ nel suo studio sui pallavolisti professionisti. Infatti in questi atleti il valore di extrarotazione dalla posizione neutra dell'arto non dominante (ERHT) è risultato significativamente diminuito in coloro che avevano storia di infortuni, permettendo di identificare un minor valore di ERHT costituzionale come fattore predisponente allo sviluppo di infortuni.

Anche in questo caso maggiore importanza viene attribuita alla predisposizione iniziale dell'atleta, alla condizione di partenza piuttosto che al grado di modificazione finale acquisita, permettendo di aggiungere anche una ridotta ERHT tra i fattori di rischio.

Parlando invece di modificazioni glenoidee, abbiamo anticipato precedentemente come il rimodellamento avvenga in realtà nelle tre dimensioni ed in particolare della necessità di modificazione unisona tra glena e omero. Questo è importante perché la quantità di versione glenoidea è in forte relazione con l'instabilità articolare e una mancanza di suo adattamento alle modifiche sviluppate dall'omero favorirebbe lo sviluppo di instabilità posteriore e di SLAP lesion. Una mancanza di orientamento corretto tra i due capi articolari andrebbe ad aumentare la tensione sul capolungo del bicipite durante il lancio, andando a stressare maggiormente l'ancora bicipitale ed il suo attacco sul cercine e portando col tempo allo sviluppo di dolore e lesioni. Una corretta versione glenoidea diminuirebbe questo fenomeno, riducendo la tensione sul capolungo del bicipite e sviluppando un' azione protettiva. (Fig.7)

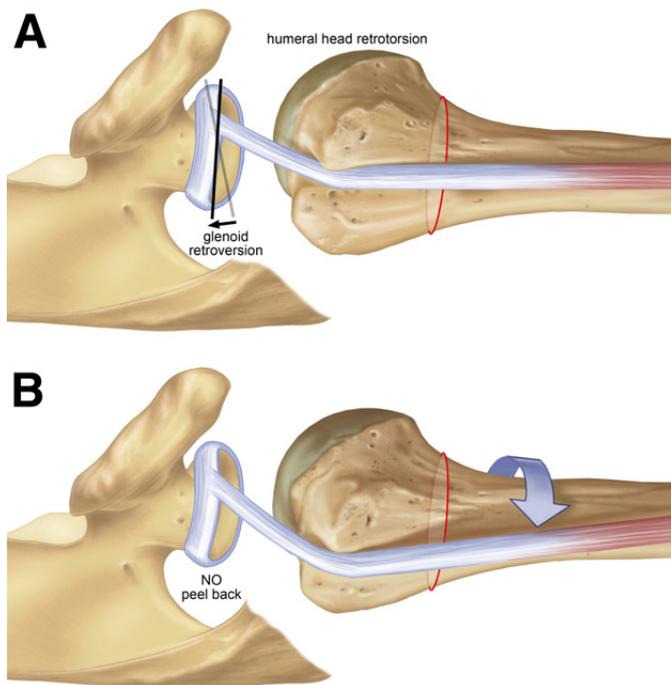


FIG 7. Quando durante il lancio la spalla si trova nella massima posizione di abduzione ed extrarotazione, il capo lungo del bicipite è portato sulla parte superiore della testa omerale. Se sia l'omero che la glena sviluppano cambiamenti complementari nelle rispettive retroversioni, minor tensione viene sviluppata a livello dell'ancora bicipitale e del suo attacco sul cercine. (Reproduced from Sweitzer *et al*)⁴⁷

Altra funzione che risulterebbe avere un buon angolo di retroversione glenoidea è di prevenzione dell'impingement interno, infatti un maggiore angolo diminuirebbe la possibilità di contatto tra la parte posteriore della glena e i muscoli della cuffia dei rotatori.

Da segnalare il parere di Polster³⁷, che non concorda con le affermazioni riportate fin ora riguardo al ruolo della retroversione glenoidea, non rilevando nel suo studio alcuna relazione tra quantità di modificazione glenoidea ed incidenza di infortuni.

Purtroppo la letteratura attuale non ci consente di arrivare ad evidenze certe. Queste risultano ancora ipotesi solo parzialmente confermate a causa del ridotto numero di studi presenti e per il ridotto numero di campioni analizzati, in ogni caso si può ipotizzare un ruolo meno importante delle modificazioni glenoidee rispetto a quello svolto dalla retroversione omerale nella rapporto con gli infortuni.

6. CONCLUSIONI

L'analisi della letteratura attuale ci ha consentito di confermare lo sviluppo di modificazioni strutturali adattative nella spalla degli atleti overhead.

La principale modificazione, quella su cui si trova più consenso in letteratura riguarda l'aumento dell'angolo di retroversione omerale dell'arto dominante rispetto al contro laterale, compreso tra i 10° e i 20° a seconda dello studio considerato. Questa modificazione si sviluppa prevalentemente tra i 12 e i 16 anni di età ad opera dei muscoli intrarotatori che esercitando un'azione torcente sulla fisi di accrescimento durante il gesto del lancio, vanno ad interferire col fisiologico processo di detorsione omerale, rallentandolo. L'aumento acquisito risulta simile sia tra maschi che tra le femmine ed è indipendente dallo sport praticato, ad eccezione del nuoto, dove l'aumento di quest'angolo risulta quasi dimezzato, probabilmente a causa della natura più ciclica e meno traumatica del gesto.⁵⁰ Un altro adattamento strutturale rilevato è a livello della glena; anche se risulta un aspetto molto meno analizzato rispetto al primo citato. Sono stati rilevati incrementi dell'angolo di retroversione glenoideo di circa 4°-8°^{15,46} ed uno studio recente¹⁵ ha mostrato come in realtà le modificazioni si estendano non solo a quest'angolo ma anche a livello del cercine e della profondità della glena, con aumenti rispettivamente di 1°-2° e di 1-2,5 mm, indicando come in realtà il rimodellamento della glena risulti più complesso di quanto ipotizzato, generando modifiche nelle tre dimensioni. L'ultima modificazione strutturale riscontrata in letteratura è stata a livello della composizione ossea. Infatti in seguito alle stimolazioni meccaniche cui è sottoposto l'osso, verrebbe attivato un processo di neoapposizione ossea sia a livello dell'endostio che del periostio, aumentando il volume dell'osso fino al 18% e aumentando così anche la resistenza alla torsione e alla flessione di circa il 17%.³

Parlando invece delle implicazioni funzionali date da questi cambiamenti strutturali, possiamo identificare una modificazione del ROM rotatorio, che senza alterare sostanzialmente la quantità di movimento totale concessa, registra un aumento dell'extrarotazione ed una diminuzione dell'intrarotazione, a causa del diverso grado di torsione della testa omerale.

Purtroppo nonostante molti articoli teorizzassero un legame tra le modificazioni sviluppate e la performance sportiva, nessuno studio è riuscito a dare prova certa della sua esistenza. È stato invece riscontrato una correlazione diretta tra un maggior valore di

retroversione ed una maggior acuità propriocettiva, indice di miglior controllo motorio e maggior possibilità di automazione del gesto tecnico.⁴⁹

Per quanto riguarda infine il rapporto con gli infortuni, l'analisi della letteratura da esiti ancora piuttosto incerti. Attualmente sono valori da considerarsi importanti per gli atleti adulti sia il grado di retroversione omerale sviluppato dall'arto dominante³⁷, sia la quantità di extrarotazione consentita partendo dalla posizione di torsione omerale neutra dell'arto non dominante⁴⁵. A valori minori di questi indici è stato infatti visto essere associata una maggior incidenza di infortuni e una maggior loro severità.

Parlando invece di adolescenti, il termine di paragone cambia, perché il loro angolo di retroversione è ancora in fase di rimodellamento, ed è quindi risultato più rilevante il valore di HT dell'arto non dominante, in quanto indice della quantità di torsione da sviluppare nel corso degli anni prima di arrivare al grado di torsione considerato standard per i lanciatori.⁵¹

Considerando che cambiamenti maggiori sono indice di maggior stress, valori inferiori di questo angolo portano ad un aumentato rischio di infortuni. Altra categoria di soggetti risultati maggiormente a rischio infortuni sono stati i giocatori che nel corso della loro carriera hanno cambiato ruolo sportivo, iniziando a lanciare in maniera massiva in età più avanzata, dando quindi al loro corpo minor tempo e possibilità di adattamento alle richieste funzionali.³

Per quanto riguarda i cambiamenti glenoidei, c'è forse ancor più confusione in letteratura, ma generalmente si concorda per una sua importanza minore rispetto al ruolo attribuito alle modificazioni omerali in termini di predittività degli infortuni. In dato che risulta essere importante è che il grado delle modificazioni glenoidee segua quello acquisito dall'omero, in modo da mantenere una buona congruenza articolare e prevenire lo sviluppo di instabilità e di lesioni SLAP.^{15,46}

In conclusione, maggior importanza dovrebbe essere data allo screening di queste modificazioni sia in adolescenza che durante poi l'età adulta, al fine di impostare programmi di prevenzione e di lavoro differenziati, calibrati sulle differenti capacità di carico strutturali. Tutto questo al fine sia di prevenire infortuni, allungando quindi la carriera degli atleti, sia di mantenere i vantaggi clinici naturalmente acquisiti in seguito a queste modificazioni strutturali.^{27,49}

7. KEY POINT

- In seguito all'esecuzione di sport overhead si instaurano modificazioni strutturali nella spalla dominante degli atleti. Le principali risultano essere: aumento dell'angolo di retroversione omerale, cambiamenti 3D dell'orientamento glenoideo e aumento del volume e del diametro di massa ossea.
- Le modificazioni acquisite generano una traslazione del ROM verso l'extrarotazione, una miglior propriocezione ed una maggior resistenza alle forze applicate in torsione e flessione.
- Non ci sono dati che confermino che le modificazioni acquisite dagli atleti generino una miglior performance sportiva durante il gesto del lancio.
- Il rapporto con gli infortuni è ancora controverso, in particolare è dibattuto quale sia il valore che rappresenti il miglior indice di valutazione del rischio di infortuni. Attualmente questo ruolo è stato attribuito negli adulti sia al valore di retroversione raggiunto dall'arto dominante, sia al valore di ER dalla posizione neutra di HT dell'arto non dominante, mentre per gli adolescenti si è parlato maggiormente del valore di HT dell'arto non dominante, considerato indice della predisposizione genetica del soggetto e punto di partenza da cui si sono sviluppate le modificazioni acquisite.
- È parere comune comunque l'importanza di effettuare screening di questi valori negli adolescenti e negli adulti per attuare programmi di prevenzione e carichi di lavoro personalizzati in base alle caratteristiche individuali.
- È stata confermata la validità e l'affidabilità della misurazione dell'angolo di retroversione omerale secondo la metodica ecografica descritta da Whiteley⁴⁸, Yamamoto⁵² e Myers³¹.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Allegrucci M, Whitney SL, Lephart SM, Irrgang JJ, Fu FH. Shoulder kinesthesia in healthy unilateral athletes participating in upper extremity sports. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995 Apr;21(4):220-6.
2. Bigliani LU, Codd TP, Connor PM, Levine WN, Littlefield MA, Hershon SJ. Shoulder motion and laxity in the professional baseball player. *Am J Sports Med.* 1997 Sep-Oct;25(5):609-13.
3. Bogenschutz ED, Smith HD, Warden SJ. Midhumerus adaptation in fast-pitch softballers and the effect of throwing mechanics. *Med Sci Sports Exerc.* 2011 Sep; 43(9):1698-706
4. Borsa PA, Wilk KE, Jacobson JA, Scibek JS, Dover GC, Reinold MM, Andrews JR. Correlation of range of motion and glenohumeral translation in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med.* 2005 Sep;33(9):1392-9.
5. Borsa PA, Laudner KG, Sauers EL. Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: a theoretical and evidence-based perspective. *Sports Med.* 2008;38(1):17-36.
6. Brindle TJ, Nyland J, Shapiro R, Caborn DNM, Stine R. Shoulder proprioception: Latent muscle reaction times. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 Oct;31(10):1394-8.
7. Brown LP, Niehues SL, Harrah A, Yavorsky P, Hirshman HP. Upper extremity range of motion and isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators in major league baseball players. *Am J Sports Med.* 1988 Nov-Dec;16(6):577-85.
8. Burkhart SS, Morgan CD, Kibler WB. The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part I: pathoanatomy and biomechanics. *Arthroscopy.* 2003 Apr;19(4):404-20.
9. Burkhart SS, Morgan CD, Kibler, WB. The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology. Part II: evaluation and treatment of SLAP lesions in throwers. *Arthroscopy.* 2003 May-Jun;19(5):531-9
10. Chant CB, Litchfield R, Griffin S, Thain LM. Humeral head retroversion in competitive baseball players and its relationship to glenohumeral rotation range of motion *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007 Sep;37(9):514-20.
11. Chen FS, Diaz VA, Loebenberg M, et al. Shoulder and elbow injuries in the skeletally immature athlete *J Am Acad Orthop Surg.* 2005 May-Jun;13(3):172-85.

12. Crockett HC, Gross LB, Wilk KE, et al. Osseous adaptation and range of motion at the glenohumeral joint in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2002;30:20-26.
13. Dillman CJ, Fleisig GS, Andrews JR. Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J Orthop Sports Phys Ther* 1993; 18 (2): 402-8
14. Dover GC, Kaminski TW, Meister K, Powers ME, Horodyski M. Assessment of shoulder proprioception in the female softball athlete. *Am J Sports Med.* 2003 May-Jun;31(3):431-7.
15. Drakos MC, Barker JU, Osbahr DC, Lehto S, Rudzki JR, Potter H, Coleman SH, Allen AA, Altchek DW. Effective glenoid version in professional baseball players. *Am J Orthop.* 2010 Jul;39(7):340-4.
16. Drakos MC, Rudzki JR, Allen AA, Potter HG, Altchek DW. Internal impingement of the shoulder in the overhead athlete. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:2719-2728.
17. Edelson G. Variations in the retroversion of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg.* 1999 Mar-Apr;8(2):142-5.
18. Ellenbecker TS, Roetert EP, Bailie DS, Davies GJ, Brown SW. Glenohumeral joint total rotation range of motion in elite tennis players and baseball pitchers. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Dec;34(12):2052-6.
19. Evans FG, Krahl VE (1945) The torsion of the humerus: a phylogenetic study from fish to man. *Am J Anat* 76, 303–307
20. Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J Biomech* 1999; 32 (12): 1371-5
21. Fung M, Kato S, Barrance PJ, Elias JJ, McFarland EG, Nobuhara K, Chao EY. Scapular and clavicular kinematics during humeral elevation: a study with cadavers. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001 May-Jun;10(3):278-85.
22. Hill JA, Tkach L, Hendrix RW. A study of glenohumeral orientation in patients with anterior recurrent shoulder dislocations using computerized axial tomography. *Orthop Rev.* 1989 Jan;18(1):84-91.
23. Krahl VE, The torsion of the humerus; its localization, cause and duration in man. *Am J Anat.* 1947 May;80(3):275-319.
24. Krahl H, Michaelis U, Pieper HG, Quack G, Montag M. Stimulation of bone growth through sports. A radiologic investigation of the upper extremities in professional tennis players. *American Am J Sports Med.* 1994 Nov-Dec;22(6):751-7.

25. Larson SG. The definition of humeral torsion: a comment on Rhodes. *Am J Phys Anthropol.* 2007 Jun;133(2):819-20; discussion 820-1.
26. Laudner KG, Sipes RC, Wilson JT. The acute effects of sleeper stretches on shoulder range of motion. *J Athl Train* 2008;43:359-363.
27. Leonard J, Hutchinson MR. Shoulder injuries in skeletally immature throwers: review and current thoughts. *Br J Sports Med.* 2010 Apr;44(5):306-10.
28. Ludewig PM, Reynolds JF. The association of scapular kinematics and glenohumeral joint pathologies. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009 Feb;39(2):90-104.
29. Magnusson SP, Gleim GW, Nicholas JA. Shoulder weakness in professional baseball pitchers. *Med Sci Sports Exerc.* 1994 Jan;26(1):5-9.
30. Myers JB, Laudner KG, Pasquale MR, Bradley JP, Lephart SM. Glenohumeral range of motion deficits and posterior shoulder tightness in throwers with pathologic internal impingement. *Am J Sports Med* 2006;34:385-391
31. Myers JB, Oyama S, Goerger BM, Rucinski TJ, Blackburn JT, Creighton RA. Influence of humeral torsion on interpretation of posterior shoulder tightness measures in overhead athletes. *Clin J Sport Med.* 2009;19(5):366-371.
32. Myers JB, Oyama S, Rucinski TJ, Creighton RA. Humeral retrotorsion in collegiate baseball pitchers with throwing-related upper extremity injury history. *Sports Health.* 2011 Jul;3(4):383-9.
33. O'Brien SJ, Voos JE, Neviasser AS, et al. Developmental anatomy of the shoulder and anatomy of the glenohumeral joint. In: Rockwood CA, Matsen FA, Wirth MA, et al, eds. *The shoulder*, vol 1. 4th edn. Philadelphia, Pennsylvania, USA: Saunders, 2009:1–31.
34. Osbahr DC, Cannon DL, Speer KP. Retroversion of the humerus in the throwing shoulder of college baseball pitchers. *Am J Sports Med* 2002; 30 (3): 347-353
35. Paley KJ, Jobe FW, Pink MM, Kvitne RS, ElAttrache NS. Arthroscopic findings in the overhand throwing athlete: Evidence for posterior internal impingement of the rotator cuff. *Arthroscopy* 2000;16:35-40
36. Pieper H-G. Humeral torsion in the throwing arm of handball players. *Am J Sports Med* 1998; 26 (2): 247-53
37. Polster J.M., Bullen J, Obuchowski NA, Bryan JA, Soloff L, Schickendantz MS. Relationship between humeral torsion and injury in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med.* 2013 Sep;41(9):2015-21.

38. Reagan KM, Meister K, Horodyski MB, et al. Humeral retroversion and its relationship to glenohumeral rotation in the shoulder of college baseball players. *Am J Sports Med* 2002; 30 (3): 354-360
39. Rhodes JA. Humeral torsion and retroversion in the literature: a reply to Larson. *American Journal of Physical Anthropology*. 2007, 133:819–821
40. Roach NT, Lieberman DE, Gill TJ, Palmer WE. The effect of humeral torsion on rotational range of motion in the shoulder and throwing performance *J Anat*. 2012 Mar;220(3):293-301
41. Sabick MB, Kim YK, Torry MR, Keirns MA, Hawkins RJ. Biomechanics of the shoulder in youth baseball pitchers: implications for the development of proximal humeral epiphysiolysis and humeral retrotorsion. *Am J Sports Med*. 2005 Nov;33(11):1716-22.
42. Sabick MB, Torry MR, Kim YK, Hawkins RJ. Humeral torque in professional baseball pitchers. *Am Am J Sports Med*. 2004 Jun;32(4):892-8
43. Safran MR, Borsa PA, Lephart SM, Fu FH, Warner JJ. Shoulder proprioception in baseball pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 2001 Sep-Oct;10(5):438-44.
44. Saha AK. Dynamic stability of the glenohumeral joint. *Acta Orthop Scand* 1971; 42(6): 491-505.
45. Schwab LM, Blanch P. Humeral torsion and passive shoulder range in elite volleyball players. *Phys Ther Sport*. 2009;10(2):51-56.
46. Sweitzer BA, Thigpen CA, Shanley E, Stranges G, Wienke JR, Storey T, Noonan TJ, Hawkins RJ, Wyland DJ. A comparison of glenoid morphology and glenohumeral range of motion between professional baseball pitchers with and without a history of SLAP repair. *Arthroscopy*. 2012 Sep;28(9):1206-13.
47. Verna, C. (1991) Shoulder flexibility to reduce impingement. 3rd PBATS (Professional Baseball Athletic Trainer Society), January 20-22, Mesa, Arizona, USA. Book of Abstarct: 18.
48. Whiteley R, Ginn K, Nicholson L, Adams R. Indirect ultrasound measurement of humeral torsion in adolescent baseball players and nonathletic adults: reliability and significance. *J Sci Med Sport*. 2006;9(4):310-318.
49. Whiteley RJ, Adams RD, Nicholson LL, Ginn KA. Shoulder proprioception is associated with humeral torsion in adolescent baseball players. *Phys Ther Sport*. 2008 Nov;9(4):177-84.

50. Whiteley RJ, Ginn KA, Nicholson LL, Adams RD. Sports participation and humeral torsion. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(4):256-263
51. Whiteley RJ, Adams RD, Nicholson LL, Ginn KA. Reduced humeral torsion predicts throwing-related injury in adolescent baseballers. *J Sci Med Sport.* 2010;13:392-396.
52. Yamamoto N, Itoi E, Minagawa H, et al. Why is the humeral retroversion of throwing athletes greater in dominant shoulders than in nondominant shoulders? *J Shoulder Elbow Surg.* 2006;15(5):571-575.