



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI  
GENOVA**

FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA

Master in Riabilitazione dei Disordini

Muscoloscheletrici

In collaborazione con Libera Università di Bruxelles

**La Propriocezione della Spalla**

RELATORE

Ft. Diego Arceri

CANDIDATO

Massimo Podda

**ANNO ACCADEMICO 2005/2006**

# INDICE GENERALE

<b>I. Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>II. Introduzione.....</b>	<b>4</b>
<b>III. Materiali e Metodi.....</b>	<b>6</b>
<b>IV. L'Articolazione Gleno-Omerale.....</b>	<b>13</b>
<b>V. La Propriocezione della Spalla.....</b>	<b>25</b>
<b>VI. Il Ruolo della Propriocezione nel Controllo Motorio.....</b>	<b>34</b>
<b>VII. Il Ruolo della Propriocezione nella Stabilità Articolare.....</b>	<b>36</b>
<b>VIII. Conclusioni.....</b>	<b>39</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>40</b>

# I. Abstract

L'obiettivo di questo lavoro è definire il concetto di sistema sensorimotorio ed in particolar modo di propriocezione in riferimento all'articolazione della spalla, spiegandone le basi anatomiche e neurofisiologiche.

E' stato utilizzato come database Pedro e Medline introducendo come parole chiave: shoulder proprioception, neuromuscular control, mechanoreceptors.

Tra gli abstract trovati sono stati selezionati gli articoli in lingua inglese che fossero revisioni sistematiche e RCT.

Tali articoli definiscono la propriocezione in riferimento alla spalla, descrivono le sue basi anatomo-fisiologiche, gli effetti delle lesioni e del dolore sugli stimoli afferenti e sul controllo neuromuscolare e l'efficacia di specifiche tecniche di riabilitazione al fine di ripristinare la funzionalità del sistema sensorimotorio.

Tutti gli articoli sottolineano l'importanza del sistema sensorimotorio (propriocezione e controllo neuromuscolare) nel mantenimento dell'omeostasi articolare della spalla, dimostrando come le diverse strutture (capsulari, legamentose, muscolotendinee) siano dotate di meccanocettori indispensabili al fine di trasmettere input propriocettivi al SNC, fondamentali per il controllo del movimento e la modulazione del gesto.

## II. Introduzione

Il sistema sensorimotorio è definito come l'insieme di tutte le componenti sensoriali, motorie e di integrazione centrale implicate nel mantenimento della stabilità articolare e che spesso, in modo inappropriato, vanno sotto il termine di propriocezione [Myers et al. 2006; Myers et Lephart 2000].

Correttamente, per propriocezione si intendono le informazioni afferenti, che originano dalle aree periferiche del corpo (compresi i fattori di stabilità attivi e passivi della spalla), che contribuiscono alla stabilità articolare ed al controllo posturale e motorio [Levine; Myers et al. 2006; Myers et Lephart 2000]. La propriocezione comprende tre submodalità: senso di posizione articolare, kinestesia e sensazione di forza (Fig. 1) [Diederichsen et al.; Jerosch et Primka; Myers et al. 2006; Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000; Myers et al. 1999; Riemann et Lephart 2002a]. Il senso di posizione articolare è rappresentato dalla percezione e interpretazione di informazioni riguardo ad una posizione articolare e all'orientamento nello spazio dei segmenti ossei. La kinestesia corrisponde alla capacità di apprezzare ed interpretare i movimenti articolari mentre il senso di forza è l'abilità di percepire e decifrare le forze applicate ad un'articolazione o generate al suo interno.

Gli stimoli propriocettivi originano a livello dei meccanocettori o "propriocettori", strutture neuro-epiteliali specializzate, presenti all'interno di muscoli, tendini, fasce, capsula, legamenti e cute di un'articolazione, i quali trasducono una deformazione meccanica tissutale in un segnale nervoso verso il SNC attraverso le vie sensoriali afferenti [Myers et al. 2006; Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000; Myers et al. 1999].

La deformazione di un tessuto, in cui sono presenti meccanocettori, causa un rilascio di sodio che porta alla formazione di un potenziale d'azione; un incremento di tale deformazione provoca a sua volta un aumento dei potenziali d'azione e quindi un maggior numero di informazioni per il SNC [Myers et Lephart 2000].

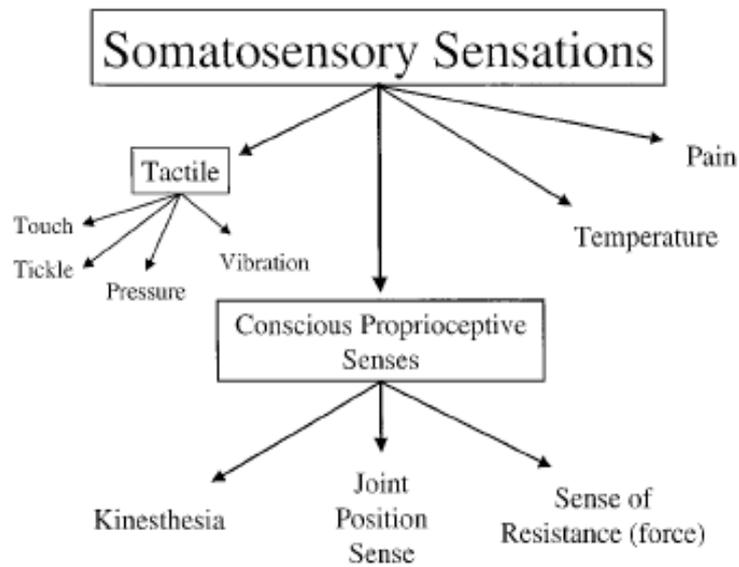


Figure 2. Sensations arising from somatosensory sources.

Fig. 1. Tre submodalità della propriocezione

### III. Materiali e Metodi

Per eseguire questo lavoro è stato utilizzato come database Pedro e Medline, introducendo come *key words*: sensorimotor system, shoulder proprioception, neuromuscular control. Sono stati inclusi in questo lavoro gli articoli che fossero revisioni sistematiche e RCT, mentre sono stati esclusi gli articoli che non fossero in lingua inglese e per cui non fosse consultabile l'abstract.

<b>Autore, titolo e anno di pubblicazione</b>	<b>Motivo dell'esclusione</b>
Jerosch J, Steinbeck J, Schaphorn G <i>Results of posterior inferior capsular shift in posterior shoulder instability.</i> 1998	Articolo in tedesco

**Tabella 1.** Elenco degli articoli eliminati ad una prima selezione

<b>Autore, titolo e anno</b>	<b>Tipo di studio e obiettivo</b>	<b>Popolazione</b>	<b>Intervento</b>	<b>Risultati</b>
Myers JB, Wassinger CA, Lephart S <i>Sensorimotor contribution to shoulder stability: Effect of injury and</i>	Revisione sistematica. Revisione della letteratura scientifica riguardo gli effetti della lesione e della riabilitazione sul	Non specificati i criteri di selezione degli studi		Le lesioni di spalla alterano anche il sistema sensorimotorio. Chirurgia e riabilitazione si sono dimostrate fondamentali

<i>rehabilitation.</i> 2006 [8]	sistema sensorimotorio.			per il recupero del sistema sensorimotorio.
Myers JB, Meister K, Andrews JR <i>Sensorimotor deficits contributing to glenohumeral instability.</i> 2002 [9]	Revisione sistematica. Analisi del ruolo che il sistema sensorimotorio gioca nel mantenimento della stabilità di spalla, degli effetti del trauma su questi meccanismi e del trattamento chirurgico nel ripristino della stabilità e della propriocezione.	Non specificati i criteri di selezione degli studi.		Le lesioni capsulolegamentose conseguenti ad instabilità gleno-omeroale alterano gli input propriocettivi verso il SNC e, quindi, l'attività muscolare riflessa. Il trattamento chirurgico oltre a ripristinare la tensione capsulolegamentosa migliora la propriocezione.
Diederichsen L, Krogsgaard M, Voigt M, Dyhre-Poulsen P <i>Shoulder reflexes.</i> 2002 [2]	Revisione sistematica. Studio del ruolo dell'attività riflessa nel mantenimento della stabilità della spalla	Non specificati i criteri di selezione degli studi.		Gli input sensoriali possono modificare sostanzialmente l'attività dei muscoli che circondano l'articolazione della spalla.

Levine WN, Flatow EL <i>The pathophysiology of shoulder instability.</i> 2000 [7]	Revisione sistemica.	Non specificati i criteri di selezione degli studi.		
Nyland JA, Carbon DN, Johnson DL <i>The human glenohumeral joint. A proprioceptive and stability alliance.</i> 1998 [12]	Revisione sistemica. Confronto della morfologia, istologia e relazioni funzionali del s. sensorimotorio dell'art. gleno-omerale umana rispetto a quella animale.	Non specificati i criteri di selezione degli studi		L'articolazione gleno-omerale umana deve la sua stabilità all'azione meccanica e propriocettiva delle strutture capsulolegamentose e muscolotendinee, responsabili di risposte muscolari riflesse di protezione.
Bigliani LU, Kelkar R, Flatow EL, Pollock RG <i>Glenohumeral stability. Biomedical properties of passive and</i>	Revisione sistemica.	Non specificati i criteri di selezione degli studi		

<i>active stabilizers.</i> 1996 [1]				
Jerosch J, Prymka M <i>Proprioception and joint stability.</i> 1996 [5]	Revisione sistematica. Revisione della letteratura riguardo al ruolo della propriocezione nel mantenimento della stabilità articolare.	Non specificati i criteri di selezione degli studi		Le afferenze propriocettive risultano alterate in seguito a lesione articolare. Alcune procedure chirurgiche sembrano avere un effetto positivo sul recupero della propriocezione.
Tripp BL, Uhl TL, Mattacola CG, Srinivasan C, Shapiro R <i>Functionl multijoint position reproduction acuity in overhead- throwing athletes.</i> 2006 [17]	RCT. Confronto dell'acutezza sensorimotoria tra due posizioni funzionali e tra piani di movimento all'interno di articolazioni individuali e descrizione di un nuovo metodo di misurazione della funzione sensorimotorio.	21 giocatori di baseball della <i>National Collegiate Athleic Association Division I</i> (età = 20.8 ± 1.5 anni, altezza 181.3 ± 5.1 cm, peso 87.8 ± 9.1 kg) senza precedenti lesioni all'arto superiore o disordini al sistema nervoso centrale	Misurazione della precisione nella riproduzione attiva di posizione poliarticolare su diversi piani utilizzando un dispositivo di misurazione elettromagneti co. Calcolo	La precisione di riproduzione di posizione articolare risulta essere significativamen te migliore in arm-cock position rispetto alla posizione di rilascio della palla sia nell'articolazion e scapolotoracica che in quella

			dell'errore assoluto e variabile per ogni movimento a livello di articolazioni scapolotoracic a, glenoomerale, di gomito e polso, e calcolo dell'errore variabile in 3D riguardo a tutte le articolazioni	glenoomerale. E' stato inoltre osservata la presenza di differenze significative tra i piani di movimento all'interno di tali articolazioni al rilascio della palla. La RI scapolotoracica e l'abduzione orizzontale glenoomerale hanno presentato minor precisione rispetto ad altri movimenti.
Edmonds G, Kirkley A, Birmingham TB <i>The effect of early arthroscopic stabilization compared to non surgical treatment on proprioception after primary</i>	RCT. Confronto dell'efficacia della stabilizzazione artroscopica e riabilitazione precoce rispetto all'immobilizzazione e riabilitazione tradizionale sulla propriocezione.	24 soggetti con dislocazione traumatica anteriore primaria.	Misurazione della propriocezione per determinare il movimento passivo e la riproduzione del posizionamento passivo a 30°	La stabilizzazione artroscopica e la riabilitazione precoci non migliorano la propriocezione in misura maggiore della immobilizzazione e riabilitazione

<i>traumatic anterior dislocation of the shoulder. 2003</i> [3]			e 60° di rotazione esterna.	standard.
Myers JB, Guskiewicz KM, Schneider RA, Prentice WE <i>Proprioception and neuromuscular control of the shoulder after muscle fatigue.</i> 1999 [11]	RCT. Esaminare gli effetti dell'affaticamento sulla propriocezione e sul controllo neuromuscolare	32 soggetti (tra i 18 e i 25 anni), 16 maschi e 16 femmine senza storia di instabilità gleno-omerolesioni a carico degli arti superiori.	Valutazione dell'errore angolare assoluto utilizzando un elettrogoniometro all'interno di un dinamometro isocinetico.	L'affaticamento dei rotatori esterni ed interni riduce la propriocezione della spalla, mentre non sono stati evidenziati significanti effetti sul controllo neuromuscolare.
Rogol IM, Ernst G, Perrin DH <i>Open and closed kinetic chain exercises improve shoulder joint reposition sense equally in healthy subjects.</i> 1998 [16]	RCT. Confronto degli effetti tra esercizi in catena cinetica aperta e chiusa sul senso di riposizionamento articolare della spalla.	39 soggetti maschi sani, 13 in ogni gruppo (catena cinetica aperta, catena cinetica chiusa e gruppo di controllo).	Ogni soggetto è stato pre-testato e post-testato per il senso di riposizionamento attivo e passivo a 30° di rotazione esterna, 30° di rotazione interna e 10° dalla rotazione esterna	Il senso di riposizionamento articolare può essere incrementato con l'allenamento nei soggetti sani. Gli esercizi a catena cinetica sia aperta che chiusa risultano essere ugualmente

			completa.	efficaci nel miglioramento propriocettivo
--	--	--	-----------	---

**Tabella 2.** Elenco e descrizione degli articoli inclusi ad una prima selezione

## IV. L'Articolazione Gleno-Omerale

La spalla è un complesso che comprende tre diversi segmenti ossei (omero, scapola e clavicola) e cinque differenti articolazioni (tre articolazioni vere e proprie: gleno-omerale, acromion-claveare e sterno-claveare; due articolazioni cosiddette "false": scapolo-toracica e sottodeltoidea). L'articolazione gleno-omerale, la principale della spalla, permette una grande mobilità a discapito, tuttavia, della stabilità articolare offerta dalle strutture capsulari, legamentose e muscolari. Al fine di permettere il massimo ROM articolare sono necessarie due funzioni tra loro in conflitto: da un lato facilitare la mobilità, dall'altro limitare i movimenti indesiderati. La stabilità articolare è quindi il risultato dato dalla somma di più fattori: congruità articolare, funzione stabilizzatrice capsulo-legamentosa e labiale, orientamento articolare, pressione intrarticolare negativa (fattori di stabilità passivi) ed azione della muscolatura circostante (fattori di stabilità attivi). L'equilibrio dinamico è mantenuto quindi attraverso la collaborazione dei fattori di stabilità attivi e passivi e soprattutto attraverso la mediazione/integrazione di un feedback propriocettivo afferente [Lephart et Fu].

I fattori di stabilità attivi e passivi possono essere quindi considerati come la base anatomica per la propriocezione e il controllo neuromuscolare della spalla.

## Fattori di Stabilità Passivi

- **Congruenza dei capi articolari**

Le superfici articolari della testa omerale e della glenoide che si affrontano appaiono grossolanamente come sezioni di sfera, con piccoli scostamenti dalla sfericità perfetta, minori dell'1% del raggio [Fusco et al.; Lephart et Fu]. Nonostante ciò la superficie ossea presenta una minore congruenza rispetto alle superfici cartilaginee.

Questa discrepanza tra congruità ossea e cartilaginea è dovuta in parte alla differenza di spessore dello strato di cartilagine ialina che ricopre le superfici articolari. A livello della glenoide scapolare questo risulta più spesso alla periferia e minore centralmente, l'opposto avviene invece a livello della testa omerale [Fusco et al.; Lephart et Fu].

La fossa glenoidea della scapola presenta una forma di virgola con un diametro anteroposteriore medio di 25 mm e superoinferiore di 35 mm. Al contrario la testa omerale presenta, anteroposteriormente, un diametro di 45 mm e, superoinferiormente, uno di 48 mm. Quindi solo il 30% della superficie della testa omerale si articola con la glenoide durante tutto il range di movimento della spalla [Lephart et Fu].

L'articolazione, per essere stabile, può sopportare solo forze di reazione perpendicolari alla superficie articolare. Questo limita il range di direzioni delle forze di reazione che l'articolazione gleno-omerale può sopportare a una piccola sezione di cono, 60° in direzione antero-posteriore e 90° in direzione superoinferiore. Lippitt (1993) e Lazarus (1996) hanno dimostrato che a 45° di abduzione e 35° di extrarotazione l'articolazione può resistere a una forza compressiva di 100 N diretta anteriormente, posteriormente, superiormente e inferiormente e a forze tangenziali di circa 30, 30, 50 e 50 N prima di lussarsi [Fusco et al.].

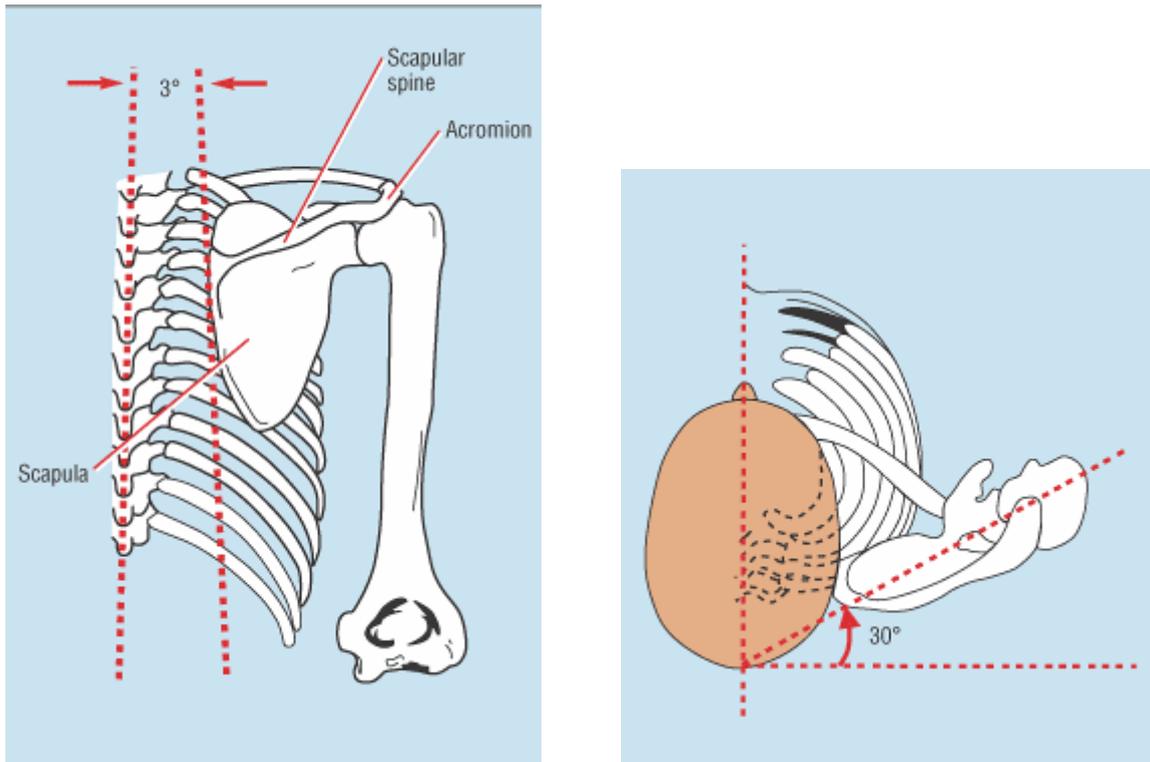
- **Orientamento articolare**

Saha (1971) ha descritto l'orientamento della glenoide relativo al piano assiale della scapola. Egli ha osservato nel 73.5% dei casi una media di  $7.4^\circ$  di retroversione e nel 26.5% restanti un'antiversione compresa tra i  $2^\circ$  e i  $10^\circ$  [Lephart et Fu].

Poiché il piano della scapola giace  $30^\circ$  anteriormente al piano frontale (Fig. 2), la glenoide presenta comunque un'antiversione compresa tra  $23^\circ$  e  $40^\circ$  rispetto al piano coronale del corpo. Oltre a ciò si può riscontrare un tilt glenoideo superiore medio rispetto al piano scapolare di  $5^\circ$  [Lephart et Fu].

Altri studi radiografici di Saha hanno riscontrato un angolo medio tra collo e asse longitudinale dell'omero tra  $130^\circ$  e  $140^\circ$  e una retroversione della testa omerale pari a  $30^\circ$  relativa alla linea transepicondilare [Lephart et Fu].

Tuttavia non è evidenziabile una relazione tra la geometria articolare (inclinazione e orientamento della glenoide, torsione omerale) e la stabilità della spalla. Inoltre, anche con differenze statistiche valide e avvalorate tra queste geometrie articolari, la mobilità della scapola nello spazio orienta la glenoide indipendentemente dalla inclinazione o dall'orientamento di quest'ultima, rispetto alla scapola. Il suo significato è certamente trascurabile, se paragonato al potenziale cinematico della scapola [Fusco et al.].



**Fig. 2.** Orientamento scapolare sul piano coronale e sul piano trasverso.

- **Pressione intrarticolare negativa**

Nell'articolazione gleno-omeroale è presente uno strato di liquido sinoviale (< 1 cc nonostante possa contenere più di 30 cc) [Lephart et Fu] di spessore inferiore a 1 mm [Fusco et al.]. Questo fluido articolare, assieme alle forze viscosse e intermolecolari, può aiutare a trattenere le superfici articolari. Inoltre, la normale pressione intrarticolare è leggermente negativa (-42 cm H<sub>2</sub>O in posizione di riposo) a causa dell'elevata pressione osmotica dei tessuti circostanti, che agisce drenando l'acqua all'interno dell'articolazione. Gohlke (1994) riscontrò che l'effetto stabilizzante della pressione intrarticolare negativa diminuiva con l'aumentare dell'abduzione e della rotazione. Nonostante l'effetto della pressione articolare possa essere dato per certo, la grandezza delle forze associate è piccola (in posizione di riposo 20N a 1,5 mm di spostamento inferiore dopo l'aumento della traslazione con un ordine di magnitudine) [Fusco et al.].

- **Labbro**

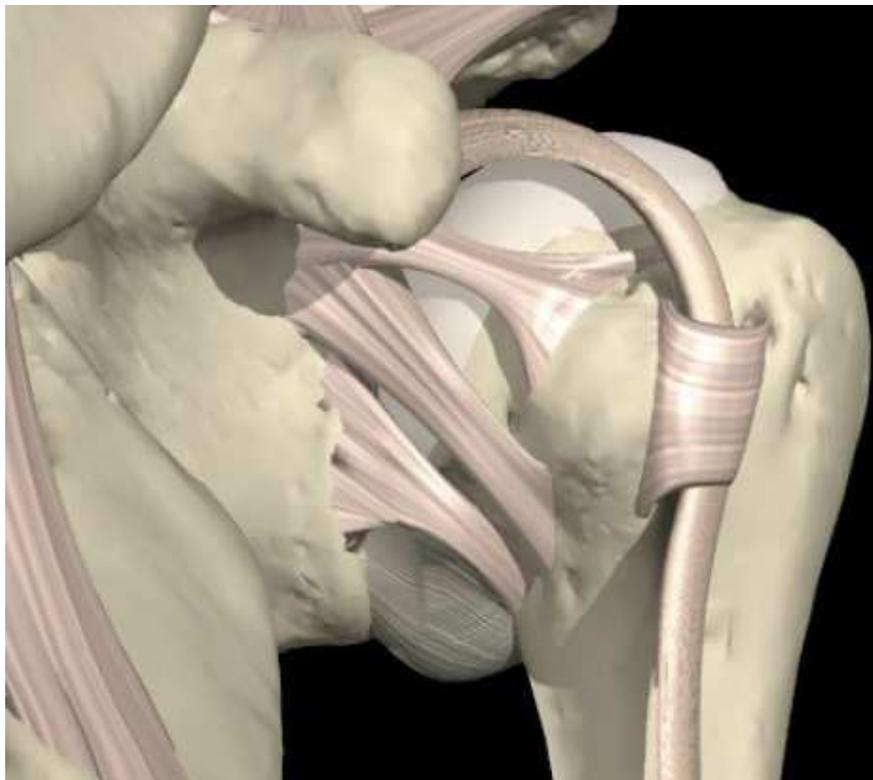
Il labbro, come descritto da Perthes e Bankart, è un'estensione fibrosa a sezione triangolare del margine della fossa glenoidea. Presenta differenti variabili anatomiche per forma, spessore ed inserzione [Lephart et Fu; Levine et Flatow]. Il dato più sicuro sembra essere rappresentato dall'inserzione anteroinferiore del legamento gleno-omeroale inferiore. In questa regione il labbro è fermamente inserito al margine glenoideo ed è immobile [Lephart et Fu; Levine et Flatow]. La porzione labiale anterosuperiore, al contrario, può essere piccola o assente o, talvolta, distaccata dalla glenoide [Lephart et Fu].

Inizialmente, si riteneva che il labbro servisse come "blocco" nel controllo della traslazione gleno-omeroale e ad estendere la superficie di contatto della glenoide con la testa omeroale costituendo circa il 50% della profondità totale della cavità glenoideo-labiale. In particolare, Hata (1992) riscontrò che il labbro glenoideo è molto più spesso nella porzione antero-posteriore, contribuendo così probabilmente alla stabilità nella direzione antero-inferiore [Fusco et al.]. Ci si potrebbe chiedere se il labbro serva solamente a incrementare l'effetto compressivo della cavità e, perciò, perché non sia costituito di osso o di cartilagine come il resto della glenoide. Per prevenire il sovraccarico della zona labiale di transizione, è decisamente più vantaggiosa una struttura di media rigidità. A causa della sua scarsa elasticità, il labbro si deforma molto facilmente sotto carico. Perciò bisogna valutare l'importanza dell'ampliamento della zona di carico come meccanismo stabilizzatore. Questa controversia è avvallata dai segni anatomici riscontrati da Nishida (1995) e da Gohlke (1994), i quali suggeriscono che il labbro sia la sede di inserzione dei legamenti gleno-omeroali e della capsula, e non una estensione fibrocartilaginea della cavità articolare, come sostenuto da Prodromos (1990) [Fusco et al.; Levine et Flatow]. Questi Autori conclusero che il labbro è una piega sovrabbondante di tessuto capsulare (fibroso), con fibrocartilagine presente solo in una sottile zona di transizione, nel punto in cui il labbro s'inserisce sul margine glenoideo. Già nel 1950, Townley riscontrò che la

rimozione del labbro anteriore non provocava una lussazione anteriore [Fusco et al.; Lephart et Fu], a meno che la porzione anteriore della capsula con i legamenti venisse sezionata o si distaccasse dal margine glenoideo. Un distacco antero-inferiore è generalmente associato con alcuni gradi di lesioni capsulari dal collo della glenoide. Questa separazione capsulo-periostale crea una lassità di un importante complesso stabilizzatore, il complesso legamentoso gleno-omerale inferiore, che è strettamente connesso con il labbro [Fusco et al.].

- **Complesso capsulo-legamentoso**

Il ruolo della capsula della spalla e dei legamenti gleno-omerale (Fig. 3) nella prevenzione dell'instabilità è complesso e varia in base alla posizione della spalla e alla direzione della forza di traslazione. Inoltre, l'estrema rotazione dell'omero sembra avvolgere le fibre della capsula, orientate concentricamente, sviluppando forze orientate verso le superfici articolari, aumentando così la stabilità [Lephart et Fu].



**Fig. 3.** Legamenti gleno-omerale (visione anteriore).

Il legamento gleno-omerale superiore (SGHL) e il legamento coraco-omerale (CHL) sono le due strutture legamentose a livello dell'intervallo dei rotatori. Il CHL è una struttura densa e fibrosa che origina dalla superficie laterale del processo coracoideo e si inserisce sulla piccola e grande tuberosità adiacente al solco bicipitale, formandone il tetto [Lephart et Fu; Levine et Flatow]. Dissezioni

anatomiche hanno dimostrato che il CHL è rilasciato in intrarotazione e teso in extrarotazione al di sotto dei 60° di abduzione così come in estensione ed extrarotazione sempre al di sotto dei 60° di abduzione gleno-omerale [Lephart et Fu].

Il SGHL, come è stato recentemente dimostrato da studi di biomeccanica, sembra avere scarsi effetti sulla stabilità articolare statica [Bigliani et al.; Lephart et Fu], mentre vi è una certa controversia riguardo al contributo del CHL sulla stabilità gleno-omerale [Levine et Flatow]. Le due strutture in questione limitano la traslazione inferiore e la rotazione esterna della spalla addotta e la traslazione posteriore della spalla flessa, addotta ed intraruotata [Levine et Flatow].

Il legamento gleno-omerale medio (MGHL) è stato descritto come il più variabile di tutti i legamenti gleno-omerale. La sua origine è localizzata sulla glenoide superiore, subito al di sotto del SGHL, medialmente al labbro, mentre la sua inserzione è a livello omerale medialmente alla piccola tuberosità, sotto il tendine del sottoscapolare [Lephart et Fu; Levine et Flatow]. Il MGHL è stato indicato come il principale "limitatore" dell'extrarotazione tra i 60° e i 90° di abduzione [Lephart et Fu; Levine et Flatow].

Il legamento gleno-omerale inferiore (IGHL) è rappresentato da un complesso costituito da una banda anteriore ed una posteriore [Lephart et Fu]. Il IGHL è il primo stabilizzatore anteriore, posteriore ed inferiore dell'articolazione gleno-omerale addotta [Lephart et Fu; Levine et Flatow]. Prende origine dalla glenoide, dal labbro o dal collo glenoideo e si inserisce sul collo anatomico dell'omero [Bigliani et al.; Lephart et Fu].

Bigliani et al. hanno concluso che i legamenti non sono abbastanza forti da resistere staticamente da soli ad eventuali dislocazioni omerali; è indispensabile una collaborazione con una muscolatura ben bilanciata al fine di prevenire un'instabilità gleno-omerale [Bigliani et al.].

## Fattori di Stabilità Attivi

- **Muscoli della Cuffia dei Rotatori**

La cuffia dei rotatori (Fig. 4) è costituita da quattro muscoli: sovraspinato, sottospinato, sottoscapolare e piccolo rotondo. Tali muscoli, che originano dall'aspetto anteriore e posteriore della scapola e si inseriscono sulla porzione laterale dell'epifisi omerale prossimale, rappresentano i veri stabilizzatori dinamici dell'articolazione gleno-omerale [Lephart et Fu].

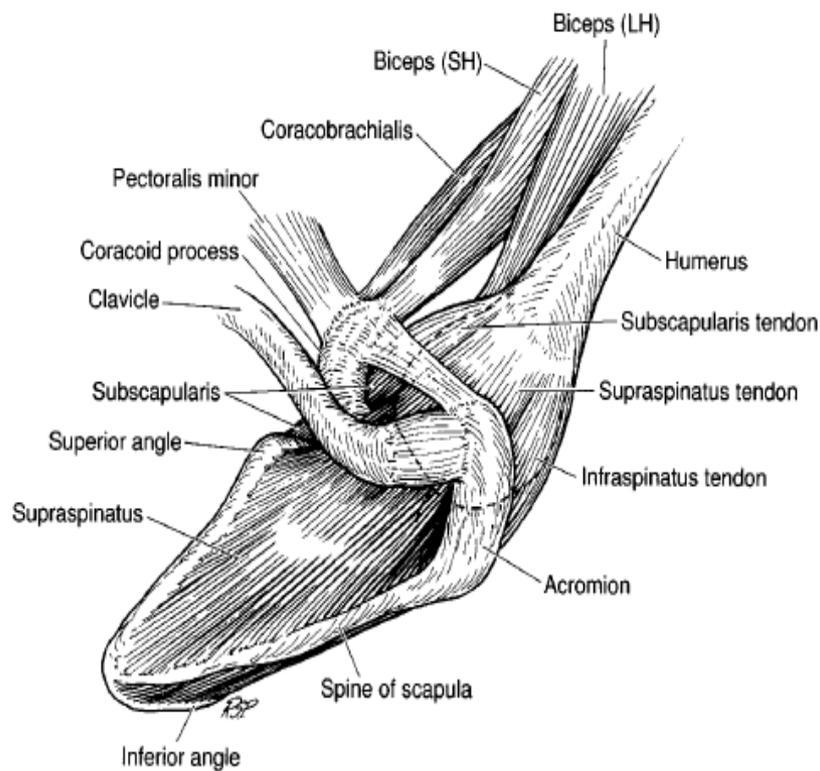
Il muscolo sottoscapolare rappresenta la porzione anteriore della cuffia, origina dalla fossa sottoscapolare e si inserisce a livello della piccola tuberosità. Il suo bordo superiore è rinforzato dal legamento coraco-omerale, il quale crea, lungo il tendine del sovraspinato, l'intervallo dei rotatori [Lephart et Fu]. Il sottoscapolare rappresenta uno stabilizzatore passivo della sublussazione anteriore e un depressore della testa omerale, incrementando, inoltre, l'efficacia del momento del deltoide durante il movimento di elevazione della spalla. La sua innervazione è garantita dai nervi sottoscapolare superiore ed inferiore [Balboni; Lephart et Fu].

Il sovraspinato origina dalla fossa sovraspinata della scapola e, passando al di sotto dell'arco coracoacromiale, si inserisce sulla grande tuberosità. La sua azione consiste nel comprimere la testa omerale contro la fossa glenoidea e, insieme al muscolo deltoide, elevare il braccio [Balboni; Lephart et Fu].

Il muscolo sottospinato origina dalla fossa sottospinata della scapola e si inserisce sulla grande tuberosità attraverso un tendine comune con il sovraspinato e il piccolo rotondo; è essenzialmente un rotatore esterno e un depressore della testa omerale. Il sottospinato, insieme al piccolo rotondo, è il più efficace nel limitare lo stiramento delle strutture anteriori grazie alla sua capacità di portare posteriormente la testa omerale durante i movimenti in rotazione esterna [Lephart et Fu].

Il nervo soprascapolare è responsabile dell'innervazione sia del muscolo sovraspinato che di quello sottospinato [Balboni; Lephart et Fu].

Il piccolo rotondo trae origine dal bordo ascellare della scapola (metà superiore) e si inserisce nella porzione inferiore della grande tuberosità omerale. Provvede al 45% della forza durante il movimento di rotazione esterna ed è in gran parte responsabile della stabilità articolare, limitando le traslazioni anteriori della testa omerale. Alla sua innervazione è deputata la branca posteriore del nervo ascellare [Balboni; Lephart et Fu].



**Fig. 4.** Cuffia dei rotatori (visione superiore).

I muscoli della cuffia dei rotatori provvedono alla stabilità articolare attraverso tre meccanismi: la compressione articolare, la coordinata contrazione muscolare, la “dinamizzazione” dei legamenti attraverso l’inserzione diretta sulla cuffia dei rotatori [Levine et Flatow].

- **Tendine Bicipitale**

Il capo lungo del bicipite origina dal tubercolo sovraglenoideo e dalla porzione superiore della glenoide. Il bicipite brachiale è innervato da branche del nervo muscolocutaneo [Balboni; Lephart et Fu].

Il tendine bicipitale, struttura intrarticolare ma extrasinoviale, aiuta a ridurre lo stress sul legamento gleno-omerale inferiore oltre ad essere un importante depressore della testa omerale in caso di lesione a carico della cuffia dei rotatori [Lephart et Fu; Levine et Flatow]. Tuttavia secondo alcuni Autori il ruolo del capo lungo bicipitale sarebbe minimo se non addirittura nullo per la stabilità articolare superiore durante l'abduzione sul piano della scapola [Lephart et Fu].

Il ruolo del bicipite sembra essere comunque legato alla posizione della spalla: il tendine stabilizza l'articolazione anteriormente con l'arto intraruotato, mentre agisce come stabilizzatore posteriore con l'arto atteggiato in extrarotazione [Levine et Flatow].

## **Innervazione sensoriale**

Gli studi di Gardner (1948) hanno identificato una fitta innervazione a cui provvedono le ramificazioni capsulari del nervo ascellare, sovrascapolare e toracico anteriore (pettorale laterale). Egli ha inoltre descritto nervi responsabili dell'innervazione articolare provenienti dalla corda posteriore del plesso brachiale, dal ganglio stellato e da branche del nervo radiale [Diederichsen et al.; Lephart et Fu]. Tali nervi derivano dalle radici C5, C6 e C7 e, in alcuni individui, anche da C4 [Lephart et Fu].

Un ulteriore studio (Aszmann, 1996) che ha valutato dissezioni di 25 cadaveri, ha documentato uno schema simile di innervazione. Secondo Aszmann i nervi nella regione anteriore dell'articolazione della spalla sono il sottoscapolare, l'ascellare e il pettorale laterale; i nervi sovrascapolare e ascellare innervano le strutture articolari posteriori [Diederichsen et al.].

Il nervo sottoscapolare origina dalla corda posteriore e distribuisce le sue branche articolari alla borsa subcoracoidea e alla regione anteriore della capsula gleno-omerale [Diederichsen et al.; Lephart et Fu].

Il nervo ascellare emerge dalla corda posteriore e si suddivide in tre branche articolari per la porzione infero-anteriore della capsula articolare [Diederichsen et al.; Lephart et Fu] e in più piccole ramificazioni per la regione posteriore della stessa capsula [Diederichsen et al.].

Il nervo pettorale laterale sorge dalla corda laterale, da origine ad una piccola branca deputata all'innervazione del processo coracoideo e dei legamenti coracoclavicolari e ad altre due branche di maggiori dimensioni che innervano la borsa subacromiale, il legamento coracoacromiale l'articolazione acromioclavicolare anteriore. Durante la parte terminale del suo percorso fornisce un ramo alla regione anterosuperiore della capsula articolare [Diederichsen et al.; Lephart et Fu].

Il nervo sovrascapolare si ramifica sia prima sia dopo il suo tronco principale e le sue arborizzazioni nervose, a livello della capsula, si sovrappongono all'innervazione del nervo ascellare. Una branca articolare superiore innerva il processo coracoideo, il legamento coracoclavicolare e coraco-omerale, e la sua regione capsulare adiacente, la borsa subacromiale e l'aspetto posteriore della capsula acromioclavicolare. La branca inferiore innerva invece la capsula articolare gleno-omerale posteriore [Diederichsen et al.; Lephart et Fu].

L'innervazione cutanea al di sopra della spalla è fornita dai nervi sovraclaveari, derivanti dalle radici C3 e C4. Il nervo cutaneo brachiale laterale, il quale è una continuazione del nervo ascellare, innerva la porzione posteroinferiore e laterale della spalla [Lephart et Fu].

Le porzioni capsulari anterosuperiore ed anteroinferiore sono quelle maggiormente ricche di elementi nervosi, inoltre, alcune fibre simpatiche corrono dai gangli stellati lungo i nervi fino all'interno della capsula [Lephart et Fu].

## V. La Propriocezione della Spalla

Basandosi sulla definizione di Sherrington di campo propriocettivo, i principali meccanocettori deputati ad originare informazioni propriocettive sono essenzialmente localizzati in muscoli, tendini, legamenti e capsula articolare, accanto ai quali devono essere considerati anche quei recettori presenti negli strati cutanei profondi e fasciali, tradizionalmente associati a sensazioni di tipo tattile [Riemann et Lephart 2002a]. Generalmente, i meccanocettori sono recettori sensoriali specializzati, responsabili della trasduzione quantitativa in segnali nervosi di stimoli meccanici che si realizzano a livello dei tessuti “ospiti”. Sebbene tale processo avvenga in modo simile per i vari meccanocettori, ogni tipo morfologico possiede differenti gradi di specificità per la modalità sensoriale alla quale risponde (una leggera pressione rispetto ad uno stiramento tissutale) [Riemann et Lephart 2002a]. La presenza di elementi nervosi all’interno dei tessuti articolari dovrebbe provvedere ad una base anatomica per la propriocezione dell’articolazione gleno-omerale.

Sono stati studiati ed analizzati quattro diversi tipi di neurorecettori: i corpuscoli di Ruffini, i corpuscoli di Pacini, gli organi tendinei del Golgi e le terminazioni libere [Diederichsen et al.].

I **corpuscoli di Ruffini**, caratterizzati da una sottile capsula connettivale, si presentano solitamente in gruppi da tre a sei unità. Le fibre nervose con cui sono in contatto possono passare all’interno o all’esterno del corpuscolo e sono generalmente in continuità col tessuto connettivo. I corpi di Ruffini sono recettori a lento adattamento ed a bassa soglia che forniscono informazioni riguardo alla velocità e direzione del movimento articolare [Lephart et Fu; Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000; Nyland et al.].

I **corpuscoli di Pacini** sono recettori formati da numerose lamelle connettivali concentriche che circondano un terminale nervoso (bastoncellare, clavato o bulboso), di grosso calibro che rimane in parte mielinico. Sono meccano-recettori a rapido adattamento a bassa soglia, sensibili all'accelerazione, vibrazione o a qualsiasi deformazione, maggiormente attivati da compressioni locali e tensioni capsulari [Lephart et Fu; Myers et Lephart 2000; Nyland et al.]. Tali organi sono distribuiti all'interno della capsula e talvolta mischiati ai recettori di Ruffini [Lephart et Fu], sono maggiormente rappresentati nel tessuto capsulare profondo e soprattutto nel tessuto fibroadiposo subsinoviale.

L'**apparato tendineo del Golgi** è identico a quello presente nella giunzione muscolotendinea, risulta incluso all'interno di una sottile capsula di tessuto connettivo e innervato da un assone mielinico. Le fibre nervose, una volta persa la guaina, si ramificano ripetutamente e terminano con complesse arborizzazioni in stretto rapporto con i fasci di fibre collagene [Lephart et Fu]. Sono recettori ad adattamento molto lento ad alta soglia che registrano la direzione del movimento e l'esatta posizione articolare, durante sia l'attivazione muscolare volontaria sia, analogamente ai fusi muscolari, in caso di stiramento passivo [Nyland et al.].

Le **terminazioni libere**, presenti all'interno del tessuto capsulare ed anche nel labbro gleno-omeroale e nella borsa subacromiale [Diederichsen et al.], sono strutture non corpuscolari e amieliniche a soglia alta e non adattive, principalmente responsabili, quindi, della nocicezione.

I **recettori fusali**, così denominati per la loro forma, sono costituiti da 8-12 fibre muscolari contenute in una guaina fibrosa. Tali fibre, definite intrafusali per distinguerle dalle più numerose fibre extrafusali, sono caratterizzati da una doppia innervazione: sono connesse con fibre sensoriali afferenti (Ia e II) e, al tempo stesso, con nervi efferenti, i  $\gamma$ -motoneuroni [Lephart et Fu; Myers et Lephart 2000]. Tale innervazione consente una regolazione continua della sensibilità dei fusi stessi durante l'intero range di movimento, permettendo quindi un costante rilevamento di eventuali cambi di lunghezza muscolare [Lephart et Fu; Myers et Lephart 2000].

Le fibre intrafusali sono tradizionalmente classificate in due differenti tipi sulla base delle loro proiezioni afferenti: primarie (dotate di assone di grande diametro che trasmette informazioni dalle fibre a sacco nucleare dinamico e a catena nucleare) e secondarie (assoni di piccolo calibro proiettano da fibre a catena nucleare e a sacco durale statico) [Nyland et al.].

Si ritiene che ogni tipo di fibra abbia caratteristiche strutturali e funzionali specifiche [Nyland et al.]. Le fibre a sacco nucleare dinamico sono innervate da  $\gamma$ -motoneuroni (dinamici) e sono più sensibili a variazioni di lunghezza muscolare dovute a stiramenti improvvisi, le fibre a catena nucleare, invece, sono innervate da  $\gamma$ -motoneuroni (statici) e sono maggiormente sensibili a differenze nella lunghezza muscolare statica. Le fibre a sacco nucleare statico, a loro volta, presentano le caratteristiche di entrambe le precedenti [Nyland et al.; Prochazka et al.].

Studi sullo sviluppo umano hanno dimostrato che la densità dei fusi nei muscoli è prestabilita dalla nascita e non varia con l'età. I muscoli aventi come inserzione il processo coracoideo e quelli che attraversano anteriormente l'articolazione presentano la densità maggiore di fusi muscolari, anche rispetto ai muscoli della cuffia dei rotatori (Voss, 1971), e, di conseguenza, il loro contributo alla propriocezione gleno-omeroale è probabilmente maggiore [Nyland et al.].

Vangsnæs e al. (1995) hanno identificato in dissezioni di capsule gleno-omeroali prelevate da cadaveri la presenza di corpuscoli di Pacini (più rappresentati nei legamenti gleno-omeroali rispetto che in quelli coracoclavicolare, coracoacromiale o acromioclavicolare) [Nyland et al.] di due tipi di corpuscoli di Ruffini e di terminazioni libere. I recettori maggiormente rappresentati sono sicuramente quelli di Ruffini (i più abbondanti) e quelli di Pacini (presenti in minor concentrazione rispetto ai primi) [Myers et Lephart 2000].

Un altro studio su modelli ottenuti dai legamenti superiore, medio e inferiore ha dimostrato la presenza di elementi recettoriali in ogni campione esaminato. Nel legamento gleno-omeroale superiore, il 51% delle sezioni presentavano prevalentemente recettori di Ruffini e del Golgi; lo stesso è stato rivenuto nel 42%

dei campioni del legamento medio. Al contrario nel 48% delle sezioni di IGHL è stata dimostrata la presenza anche di corpuscoli di Pacini oltre quella dei suddetti recettori [Lephart et Fu].

La presenza di propriocettori è stata identificata anche in alcune dissezioni della borsa subacromiale (Ide e coll. 1996) [Lephart et Fu], mentre secondo Vangsness (1995) sia nella borsa subacromiale sia all'interno del labbro glenoideo non sono presenti meccanoceettori [Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000].

**Table 2** Primary human glenohumeral capsuloligamentous mechanoreceptor locations (*GHJ* glenohumeral joint, *IGHL* inferior glenohumeral ligament, *SGHL* superior glenohumeral ligament, *NA* not applicable)

	Type 1 (Ruffini)	Type 2 (Pacini)	Type 3 (Golgi)	Type 4 (free nerve endings)
Bresch and Nuber [12]	Glenoid labrum	IGHL and MGHL mid-substance	Glenoid labrum	IGHL and MGHL mid-substance
Gohlke et al. [47]	Inner surface of coraco-acromial ligament	Outer mid-third of inferior GHJ capsule	NA	NA
Jerosch et al. [65]	NA	Inner GHJ capsule, near humerus	NA	NA
Robinson et al. [109]	IGHL and SGHL capsulo-labral junction	GHJ capsule	IGHL and SGHL capsulo-labral junction	GHJ capsule
Vangsness et al. [131]	Accessory shoulder ligaments	Glenohumeral ligaments	NA	Peripheral glenoid labrum

**Tabella 3.** Localizzazione dei meccanoceettori all'interno dell'art. gleno-omeroale [Nyland et al].

Gohlke et al. (1996) hanno delineato la neuroanatomia tridimensionale della spalla, esaminando l'intera capsula articolare, la cuffia dei rotatori e il CHL. L'Autore ha evidenziato che il tessuto legamentoso è privo di strutture nervose, al contrario il tessuto connettivo peri-legamentoso contiene un numero significativo di fibre nervose. I corpuscoli di Pacini sono stati identificati nella cuffia dei rotatori e lungo la parte anteriore ed inferiore della capsula. Gli organi tendinei del Golgi sono stati rinvenuti solo nella giunzione muscolotendinea della cuffia. I recettori presenti nella

capsula sono stati trovati nella porzione compresa tra i fasci di fibre collagene degli strati medio ed esterno della capsula stessa [Lephart et Fu].

Sempre per quanto riguarda i meccanocettori muscolotendinei, Kikuchi (1968) ha descritto come loro principale localizzazione l'inserzione dei muscoli sovraspinato, infraspinato e piccolo pettorale e l'origine dei muscoli bicipite e tricipite brachiale, coracobrachiale e deltoide [Nyland et al.].

In conclusione, diversi elementi nervosi sono stati identificati in tutta l'articolazione gleno-omeroale e, come descritto, si presentano organizzati secondo una specifica distribuzione: sono prevalenti nelle aree adiacenti ed a livello dei legamenti e sono posizionati in modo tale da registrare ogni stress a cui la capsula articolare va incontro. Inoltre gli elementi nervosi presenti nei tessuti extracapsulari devono giocare anch'essi qualche ruolo nella registrazione di movimento articolare. Il tipo specifico di recettori trovato all'interno dei tessuti esaminati non sembra essere casuale.

Attraverso l'uso di modelli animali molti autori hanno dimostrato che i meccanocettori presenti all'interno della capsula articolare non appaiono sufficientemente stimolati attraverso movimenti in *mid range* da contribuire, in modo concreto, alla propriocezione, considerando poi, a maggior ragione, gli apparentemente potenti input provenienti dai recettori muscolari. Basandosi su questo dato, diversi Autori sono arrivati alla conclusione che le afferenze capsulari inverosimilmente possono trasmettere informazioni riguardo a kinestesia e senso di posizione articolare durante i movimenti nei gradi intermedi di articularità, mentre la loro funzione propriocettiva sarebbe possibile solamente nelle posizioni a fine range articolare [Myers et Lephart 2000; Prochazka et al.; Riemann et Lephart 2002a]. Grigg ha messo in dubbio la funzione dei recettori legamentosi a causa del loro basso numero (in confronto a quelli capsulari) e della loro scarsa capacità di segnalare specifici movimenti e posizioni articolari [Riemann et Lephart 2002a]. E' comunque sempre importante tenere in considerazione che i dati, sui quali molte di

queste conclusioni sono basate, sono stati raccolti durante l'esecuzione di movimenti passivi, infatti, come Pedersen et al. hanno affermato, durante il movimento attivo vi è un incremento del range di attivazione recettoriale. Così come le afferenze articolari, è stato ipotizzato che anche quelle cutanee vengano stimulate solo ai gradi estremi di articolarietà, tuttavia altri studi hanno attribuito ai meccanocettori cutanei la capacità di trasmettere precise informazioni riguardo il movimento articolare attraverso pattern di stiramento cutaneo [Riemann et Lephart 2002a].

Diversamente dai recettori cutanei ed articolari, i fusi muscolari si sono dimostrati capaci di rispondere in modo unidirezionale lungo l'intero range di movimento fisiologico [Prochazka et al.; Riemann et Lephart 2002a].

Proiezioni corticali sono state dimostrate provenire dai recettori articolari (sia capsulari che legamentosi), dai fusi muscolari e dagli organi tendinei del Golgi. La stimolazione elettrica delle fibre afferenti articolari e cutanee ha dimostrato evocare rispettivamente sensazioni relative all'articolazione e percezione di movimento articolare, mentre quella meccanica di meccanocettori cutanei ha provocato sensazioni di kinestesia. La diretta stimolazione di un singolo fuso muscolare non ha portato alla percezione di movimento come al contrario è avvenuto in seguito all'attivazione di più fusi attraverso la vibrazione e la trazione isolata [Riemann et Lephart 2002a].

In conclusione le fonti principali di informazioni propriocettive rimangono ancora abbastanza incerte, in particolar modo a causa dei diversi metodi di studio utilizzati dai ricercatori.

## **Integrazione Sensoriale a livello del Midollo Spinale**

Si ritiene che l'integrazione degli input sensoriali provenienti dalle diverse parti del corpo inizi a livello del midollo spinale (Fig. 5.) [Myers et Lephart 2000; Riemann et Lephart 2002a]. Tale integrazione consiste nei meccanismi di sommazione, conduzione e modulazione che avvengono come risultato di diverse combinazioni di sinapsi inibitorie ed eccitatorie con i neuroni afferenti. L'integrazione di segnali

afferenti è una componente essenziale di un controllo motorio fluido e coordinato ed è presente lungo tutti i livelli del SNC [Myers et Lephart 2000; Riemann et Lephart 2002a].

Diversamente dai neuroni tattili che dirigono il loro assone direttamente verso la corteccia cerebrale senza creare sinapsi, molti recettori che trasportano informazioni propriocettive si biforcano una volta entrati nel corno dorsale del midollo formando sinapsi con interneuroni. L'essenza dell'integrazione afferente a livello del MS consiste nella connessione di neuroni ed interneuroni con i livelli superiori del SNC. Il controllo su tali neuroni avviene attraverso comandi discendenti provenienti dal tronco encefalico, mentre la corteccia cerebrale provvede a questi centri filtrando gli input sensoriali trasportati attraverso le vie ascendenti, in altre parole il le regioni del SNC al di sopra del MS modulano le informazioni sensoriali periferiche che entrano all'interno dei tratti ascendenti [Riemann et Lephart 2002a].

Alcuni Autori (Johansson et al.) considerano il sistema dei  $\gamma$ -motoneuroni già come un "sistema di integrazione neuronale premotorio", responsabile della trasduzione verso il SNC di un feedback polimodale, data la forte influenza che le afferenze capsulolegamentose, cutanee e muscolari e le vie efferenti presentano sull'attivazione degli stessi  $\gamma$ -motoneuroni [Myers et Lephart 2000; Riemann et Lephart 2002a].

## **Trasmissione degli Input Propriocettivi al SNC**

Due sono le teorie che descrivono le metodiche attraverso le quali gli input propriocettivi, provenienti dai differenti meccanocettori, vengono trasmessi verso il SNC. La prima si basa sull'ipotesi che ciascuno stimolo solleciti dei determinati recettori connessi a specifiche fibre nervose, le quali terminano, quindi, in uno più punti del SNC; questa teoria, tuttavia, non tiene in considerazione il fatto che la maggior parte dei recettori risulta essere sensibile a differenti qualità di stimoli e non solo ad un unico tipo.

La seconda teoria suggerisce, invece, che le informazioni propriocettive vengano trasmesse al SNC attraverso una popolazione di recettori piuttosto che da unità distinte. Questa teoria ritiene che i recettori possiedano un unico, ma sovrapponibile, campo di sensibilità; clinicamente questo può aiutare a spiegare l'incremento di acuità propriocettiva e la riduzione della soggettiva sensazione di instabilità in seguito all'applicazione di bendaggi e fasciature elastiche [Riemann et Lephart 2002a].

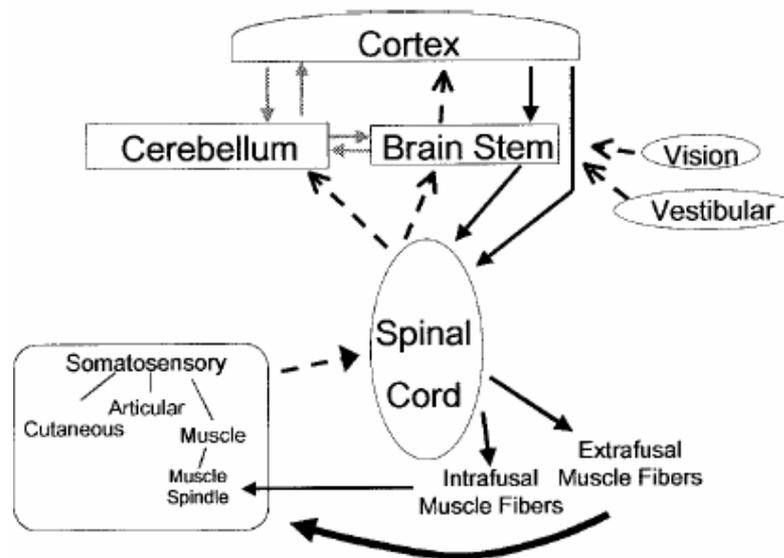


Fig. 5. Integrazione sensoriale nel SNC.

Le informazioni propriocettive provenienti da muscoli e tendini sono trasportate da assoni veloci di grande diametro (Ia, Ib, e II, 120-36 m/s), mentre quelle provenienti da capsula e legamenti sono condotte da fibre afferenti di piccolo diametro e a bassa velocità (II e III, 72-4 m/s) [Diederichsen et al.; Prochazka et al.].

La maggior parte degli input propriocettivi viene trasmessa ai centri superiori attraverso i tratti dorso laterale e spinocerebellare del midollo spinale. I due tratti dorso laterali sono localizzati nella regione posteriore e trasmettono i segnali nervosi

alla corteccia somatosensoriale [Myers et Lephart 2002; Riemann et Lephart 2002a]. Sebbene la maggior parte delle sensazioni trasmesse in questo tratto sia rappresentata da tatto, pressione e vibrazione, si ipotizza che la conduzione di parte delle informazioni relative alla posizione e al movimento articolare possa essergli comunque attribuita.

I tratti spinocerebellari sono caratterizzati da velocità di trasmissione altissime e, come il loro nome suggerisce, terminano in varie aree del cervelletto, dove il segnale può essere elaborato ed integrato con altre informazioni, sia afferenti che efferenti. Diversamente dalle informazioni condotte dai tratti dorso laterali, che costituiscono dei dati sensoriali "coscienti", le porzioni spinocerebellari sono invece responsabili della propriocezione incosciente (batiestesia, sensazione di ampiezza di angoli articolari, lunghezza e tensione muscolare) utilizzata per attività automatiche, riflesse e volontarie [Riemann et Lephart 2002a].

## **VI. Il Ruolo della Propriocezione nel Controllo Motorio**

Il contributo che le informazioni propriocettive offrono nell'organizzazione del controllo motorio può essere suddiviso in due parti distinte [Riemann et Lephart 2002b]. La prima riguarda il ruolo che la propriocezione ricopre rispetto agli stimoli provenienti dall'ambiente esterno: i programmi motori spesso devono essere regolati al fine di adattarsi a perturbazioni esterne inaspettate o a cambiamenti ambientali. Sebbene la fonte di queste informazioni sia spesso largamente associata ad input visivi, ci sono molte circostanze in cui le informazioni propriocettive sono le più rapide nel raggiungere il SNC o le più accurate e complete od entrambe. La propriocezione è stata quindi descritta come elemento essenziale durante l'esecuzione del movimento al fine di integrare i comandi di feedforward originati dalle afferenze visive [Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b].

La seconda categoria di ruoli che le informazioni propriocettive giocano nel controllo motorio è, invece, rappresentata dalla pianificazione e modificazione dei comandi efferenti. Prima e durante un comando motorio il sistema di controllo deve tenere in considerazione le diverse posizioni dell'articolazione e le complesse interazioni meccaniche all'interno delle strutture muscoloscheletriche, proprio a tal fine la propriocezione provvede al meglio a fornirgli quelle indispensabili informazioni riguardo posizione e movimento articolare [Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b].

Inoltre gli input propriocettivi sono necessari anche a determinare quanta tensione deve essere sviluppata in un dato muscolo al fine di compiere il compito motorio richiesto, in particolar modo se si tratta di movimenti che coinvolgono più articolazioni [Riemann et Lephart 2002b].

## VII. Il Ruolo della Propriocezione nella Stabilità Articolare

Nonostante gli elementi recettoriali identificati nei diversi tessuti provvedano agli input afferenti destinati al SNC, la loro stimolazione può portare ad una reazione diretta della muscolatura circostante all'articolazione. L'attività riflessa può giocare un ruolo fondamentale nella regolazione di gesti specifici, nonostante non possa essere sufficientemente veloce da controllare movimenti rapidi [Diederichsen et al.; Lephart et Fu; Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b].

I primi riflessi gleno-omerale documentati sono stati quelli studiati utilizzando modelli felini [Diederichsen et al.; Lephart et Fu; Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b]. Questi studi, in seguito alla dissezione dell'articolazione gleno-omerale di gatti adulti, hanno documentato la presenza di un'attività riflessa variabile da parte delle diverse branche dei nervi ascellare, sovrascapolare, sottoscapolare e muscolocutaneo. Il tempo compreso tra l'applicazione dello stimolo e la generazione di attività riflessa è stato dimostrato variare dai 2,7 ai 3,2 ms. Al contrario, l'attività riflessa è risultata abolita in seguito alla sezione di queste branche subito distalmente al tronco nervoso principale, confermando, quindi, l'importante contributo afferente di tali strutture [Diederichsen et al.; Lephart et Fu].

I pattern generati dalla stimolazione nervosa sono correlati, almeno teoricamente, alla loro presunta funzione a livello articolare: l'attività riflessa del nervo ascellare è specifica per ciascuna delle tre branche, anche se per lo più localizzata a livello dei muscoli della cuffia dei rotatori, la stimolazione del nervo muscolocutaneo ha provocato la contrazione del muscolo bicipite, mentre i nervi sovra e sottoscapolare

hanno evocato simili pattern di contrazione in seguito alla stimolazione delle loro branche capsulari, nonostante alcuni dei muscoli attivati non siano innervati da questi medesimi nervi [Diederichsen et al.; Lephart et Fu].

Nel 1997 Jerosch et al. hanno pubblicato il primo studio condotto sull'uomo riguardante l'attività riflessa della spalla: dallo studio è emerso un tempo di latenza variabile dai 100 e i 516 ms [Diederichsen et al.; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b].

Grazie all'esistenza e allo studio di questa attività riflessa si è potuto, definitivamente, confermare la presenza di una diretta connessione tra fattori di stabilità passivi (capsulolegamentosi) ed attivi (muscolari) a livello dell'articolazione gleno-omeroale. Tale attività non deve essere comunque considerata come costituita da veri e propri riflessi, in quanto, in tal caso, a causa del loro lungo tempo di latenza, questi avrebbero scarsa utilità al fine di prevenire movimenti articolari potenzialmente dannosi. E' importante invece vedere questo fenomeno come parte di una rete di interazioni che può immediatamente intervenire per modificare azioni preprogrammate a livello del midollo spinale e, di conseguenza, al fine di modulare il gesto motorio [Diederichsen et al.; Lephart et Fu; Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b].

In contrasto con l'apparentemente controversa attivazione degli  $\alpha$ -motoneuroni, le afferenze articolari sono più unanimemente ritenute responsabili di effetti simili su  $\gamma$ -motoneuroni [Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b]. Freeman e Wyke già nel 1967 avevano dimostrato un incremento dell'attività muscolare in risposta alla stimolazione dei meccanocettori articolari in seguito all'attivazione, non di  $\alpha$ -motoneuroni, bensì di  $\gamma$ -motoneuroni. A partire dal loro studio, molte ricerche hanno dimostrato la presenza di un'azione riflessa, in risposta alle afferenze articolari, su  $\gamma$ -motoneuroni attraverso la stimolazione e lo stiramento tissutale. L'incremento di attivazione dei  $\gamma$ -motoneuroni, derivante dagli input provenienti dai tessuti cutaneo e muscolare, ha la proprietà di innalzare la sensibilità

dei fusi muscolari, questo porta, a sua volta, ad un aumento dell'eccitabilità di una popolazione di motoneuroni e di conseguenza anche della stiffness muscolare migliorando la stabilità articolare (stiffness articolare) [Myers et Lephart 2002; Myers et Lephart 2000, Riemann et Lephart 2002b].

## VIII. Conclusioni

Le informazioni propriocettive della spalla originano dai meccanocettori presenti all'interno delle strutture capsulolegamentose e muscolotendinee e, attraverso le vie afferenti, vengono trasmesse al sistema nervoso centrale, dove vengono integrate con altre informazioni provenienti da altri livelli del sistema nervoso. Il SNC, a sua volta, è responsabile di risposte motorie efferenti (controllo neuromuscolare) indispensabili al fine di garantire dei pattern motori coordinati e la stabilità dell'articolazione gleno-omeroale (grazie all'attivazione degli stabilizzatori dinamici). Sulla base di questi dati è possibile, quindi, supporre che un qualsiasi tipo di lesione a carico delle strutture di stabilizzazione della spalla (articolari, capsulolegamentose e muscolotendinee) possa portare ad un deficit nella trasmissione degli input propriocettivi verso il SNC in seguito ad un'alterata stimolazione dei meccanocettori presenti all'interno delle stesse strutture lese.

Un possibile obiettivo per la ricerca futura potrebbe essere quello di delineare in modo più dettagliato il ruolo che i meccanocettori giocano nel promuovere l'attivazione dei  $\gamma$ -motoneuroni e il controllo motorio soprasspinale. Maggiori conoscenze ed informazioni riguardo al controllo soprasspinale sull'attivazione degli stabilizzatori dinamici potrebbero essere fondamentali nello sviluppo di strategie preventive e riabilitative. Intervenire a livello soprasspinale potrebbe consentire un miglioramento della stabilità dinamica soprattutto da un punto di vista anticipatorio.

# Bibliografia

1. Balboni C  
*Anatomia Umana*  
Ed. Edi-Ermes 1975
2. Bigliani LU, Kelkar R, Flatow EL, Pollock RG, Mow VC.  
*Glenohumeral stability. Biomechanical properties of passive and active stabilizers.*  
Clin Orthop Relat Res. 1996 Sep; (330): 13-30. Revisione sistematica
3. Diederichsen L, Krogsgaard M, Voight M, Dyhre-Poulsen P.  
*Shoulder reflexes.*  
J Electromyogr Kinesiol. 2002 Jul; 12(3): 183-91. Revisione sistematica
4. Edmonds G, Kirkley A, Birmingham TB, Fowler PJ.  
*The effect of early arthroscopic stabilization compared to nonsurgical treatment on proprioception after primary traumatic anterior dislocation of the shoulder.*  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2003; 11: 116-121. RCT
5. Fusco A, Foglia A, Musarra F, Testa M  
*La spalla nello sportivo.*  
Ed. Masson 2005
6. Jerosch J, Prymka M.  
*Proprioception and joint stability.*  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1996; 4(3): 171-9. Revisione sistematica

7. Lephart SM, Fu F.  
*Proprioception and neuromuscular control in joint stability.*  
Ed. Human Kinetics 2000
8. Levine WN, Flatow EL.  
*The pathophysiology of shoulder instability.*  
Am J Sports Med. 2000 Nov-Dec; 28(6): 910-7. Revisione sistematica
9. Myers JB, Wassinger CA, Lephart SM.  
*Sensorimotor contribution to shoulder stability: effect of injury and rehabilitation.*  
Man Ther. 2006 Aug;11(3): 197-201. Epub 2006 Jun. Revisione sistematica
10. Myers JB, Lephart SM.  
*Sensorimotor deficits contributing to glenohumeral instability.*  
Clin Orthop Relat Res. 2002 Jul;(400): 98-104. Revisione sistematica
11. Myers JB, Lephart SM.  
*The role of the sensorimotor system in the athletic shoulder*  
J Athl Train. 2000; 35(3): 351-363.
12. Myers JB, Guskiewicz KM, Schneider RA, Prentice WE.  
*Proprioception and neuromuscular control of the shoulder after muscle fatigue.*  
Journal of Athletic Training. 1999; 34(4): 362-367. RCT
13. Nyland JA, Carbon DN, Johnson DL.  
*The human glenohumeral joint. A proprioceptive and stability alliance.*  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1998; 6(1): 50-61. Revisione sistematica

14. Prochazka A, Hulliger M.  
*The continuing debate about CNS control of proprioception.*  
The Journal of Physiology (1998). Revisione sistematica
15. Riemann BL, Lephart SM.  
*The sensorimotor system, part I: physiologic basis of functional joint stability.*  
J Athl Train. 2002 Jan-Mar; 37(1): 71-79.
16. Riemann BL, Lephart SM.  
*The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability.*  
J Athl Train. 2002 Jan-Mar; 37(1): 80-84.
17. Riemann BL, Myers JB, Lephart SM.  
*Sensorimotor system measurement techniques.*  
J Athl Train. 2002 Jan-Mar; 37(1): 85-98.
18. Rogol IM, Ernst G, Perrin DH.  
*Open and closed kinetic chain exercises improve shoulder joint reposition sense equally in healthy subjects*  
J Athl Train. 1998; 33(4): 315-318. RCT
19. Safran MR, Borsa PA, Lephart SM, Fu F, Warner JP  
*Shoulder proprioception in baseball pitchers*  
J Shoulder Elbow Surg. 2001 Sep-Oct; 10(5): 438-444.
20. Sainburg RL, Poizner H, Ghez C.  
*Loss of Proprioception Produces Deficits in Interjoint Coordination*  
J Neuroph Vol. 70, No. 5, November 1993.

21. Tripp BL, Uhl TL, Mattacola CG, Srinivasan C, Shapiro R.

*Functional multijoint position reproduction acuity in overhead-throwing athletes.*

J Athl Train. 2006; 41(2): 146-153. RCT