

La propiocezione nella spalla. Implicazioni per il trattamento.

Gardella Luca

2005/2006

1. Abstract	2
2. Materiali e metodi	2
3. Introduzione	12
4. Valutazione della propiocezione e del controllo neuromuscolare	17
5. Influenza delle lesioni sulla propiocezione e sul controllo neuromuscolare	21
6. Effetti dell'affaticamento sulla propiocezione e sul controllo neuromuscolare	26
7. Riabilitazione della propiocezione e del controllo neuromuscolare	27
9. Evidenze di efficacia della riabilitazione della propiocezione e del controllo neuromuscolare	37
10. Conclusioni	38
11. Bibliografia	39

1. Abstract

La stabilità funzionale della spalla è il risultato dell'interazione tra le strutture di stabilizzazione passive e le strutture di stabilizzazione attive. Questa interazione è mediata dal sistema sensorimotorio. Le afferenze propriocettive sono fondamentali per un'adeguata risposta efferente, rappresentata dal controllo neuromuscolare. Il controllo neuromuscolare garantisce la stabilità dell'articolazione e pattern coordinati di movimento attraverso la co-attivazione delle "force couples", il tensionamento dinamico della capsula, la contrazione muscolare reattiva e anticipatoria, l'aumento della "stiffness" muscolare. In seguito a lesioni delle strutture capsulo-legamentose l' "input" propriocettivo sembra risultare danneggiato, con conseguente alterata risposta neuromuscolare efferente. La combinazione di un'aumentata lassità capsulo-legamentosa e un diminuito controllo neuromuscolare contribuiscono a rendere l'articolazione funzionalmente instabile. Il ripristino della stabilità funzionale della spalla richiede un approccio riabilitativo che sia indirizzato alla presa di coscienza delle sensazioni propriocettive, alla stabilizzazione dinamica, al ristabilimento di risposte muscolari reattive e anticipatorie, e all'implementazione di attività funzionali.

2. Materiali e metodi

E' stata fatta una ricerca bibliografica, utilizzando i database di:

- Medline
- Pedro
- Cochrane Library

Sono state utilizzate le parole chiave:

- Shoulder proprioception
- Shoulder proprioceptive rehabilitation
- Shoulder neuromuscular control
- Shoulder neuromuscular control rehabilitation
- Shoulder motor control rehabilitation
- Motor control rehabilitation

Si è tenuto conto in questo lavoro della gerarchia delle evidenze, prendendo in considerazione in prima istanza le revisioni sistematiche e gli RCT, utilizzando tipologie di articoli di minor qualità esclusivamente nel caso di mancanza di letteratura scientifica migliore e pesandone comunque la rilevanza. Si è scelto di escludere a priori gli articoli che non fossero in lingua inglese e per cui non fosse consultabile l'abstract. Alcuni articoli sono stati esclusi perchè non reperibili.

Autore, titolo, rivista e anno di pubblicazione	Motivo dell'esclusione
<i>Ubinger ME, Prentice WE, Guskiewicz KM. Effects of closed kinetic chain training on neuromuscular control in the upper extremity. Journal of Sport Rehabilitation 1999</i>	<i>Articolo non reperibile</i>
<i>Padua DA, Guskiewicz KM, Myers JB. Effects of closed kinetic chain, open kinetic chain, and proprioceptive neuromuscular facilitation training on the shoulder. J Athl Train. 1999</i>	<i>Articolo non reperibile</i>
<i>Uhl TL, Mattacola CG, Johnson DL. Clinical assessment and rehabilitation of shoulder and knee sensorimotor control. Orthopedics. 2002</i>	<i>Articolo non reperibile</i>

Tabella 1. Elenco degli articoli eliminati ad una prima selezione

Autore, titolo, rivista e anno	Tipo di studio e obiettivo	Popolazione	Intervento	Risultati
Myers JB, Wassinger CA, Lephart S <i>Sensorimotor contribution to shoulder stability: Effect of injury and rehabilitation. Manual Therapy 2006</i>	<i>Revisione sistematica. Revisione della letteratura scientifica riguardo gli effetti della lesione e della riabilitazione sul sistema sensorimotorio.</i>	<i>Non specificati i criteri di selezione degli studi</i>		<i>Le lesioni di spalla alterano anche il sistema sensorimotorio. Chirurgia e riabilitazione si sono dimostrate fondamentali per il recupero del sistema sensorimotorio.</i>
Myers JB, Meister K, Andrews JR <i>Sensorimotor deficits contributing to glenohumeral</i>	<i>Revisione sistematica. Analisi del ruolo che il sistema sensorimotorio gioca nel</i>	<i>Non specificati i criteri di selezione degli studi.</i>		<i>Le lesioni capsulolegamentose conseguenti ad instabilità gleno-omeroale alterano gli input</i>

<i>instability. Manual Therapy 2002</i>	<i>mantenimento della stabilità di spalla, degli effetti del trauma su questi meccanismi e del trattamento chirurgico nel ripristino della stabilità e della propriocezione.</i>			<i>propriocettivi verso il SNC e, quindi, l'attività muscolare riflessa. Il trattamento chirurgico oltre a ripristinare la tensione capsulolegamentosa migliora la propriocezione.</i>
<i>Diederichsen L, Krogsgaard M, Voigt M, Dyhre-Poulsen P Shoulder reflexes. Journal of Electromyography and Kinesiology 2002</i>	<i>Revisione sistematica. Studio del ruolo dell'attività riflessa nel mantenimento della stabilità della spalla</i>	<i>Non specificati i criteri di selezione degli studi.</i>		<i>Gli input sensoriali possono modificare sostanzialmente l'attività dei muscoli che circondano l'articolazione della spalla.</i>
<i>Nyland JA, Carbon DN, Johnson DL The human glenohumeral joint. A proprioceptive and stability alliance. Knee Surg, Sports Traumatol, Arthrosc 1998</i>	<i>Revisione sistematica. Confronto della morfologia, istologia e relazioni funzionali del s. sensorimotorio dell'art. gleno-omerale umana rispetto a quella animale.</i>	<i>Non specificati i criteri di selezione degli studi</i>		<i>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.</i>
<i>Ginn KA, Cohen ML. Exercise therapy for shoulder pain aimed at restoring neuromuscular control: a randomized controlled clinical trial Journal of Rehabilitation Medicine 2005</i>	<i>RCT. Confronto tra l'efficacia dell'esercizio terapeutico rivolto al ripristino del controllo neuromuscolare e altri interventi conservativi nel trattamento della spalla dolorosa cronica con presenza o meno di rigidità.</i>	<i>Un totale di 138 volontari con dolore unilaterale di spalla di origine meccanica e locale.</i>	<i>I soggetti sono stati collocati casualmente in tre gruppi. Un gruppo riceveva esercizio terapeutico rivolto al ripristino della stabilità dinamica e della coordinazione muscolare della spalla, uno infiltrazioni sottoacromiali di corticosteroidi, una combinazione di terapia fisica e esercizi per l'incremento del</i>	<i>L'esercizio terapeutico rivolto al ripristino del controllo neuromuscolare, le infiltrazioni di corticosteroidi e la combinazione di terapia fisica ed esercizi per l'incremento del ROM sono egualmente efficaci nel trattamento a breve termine della spalla dolorosa. L'esercizio terapeutico e le</i>

			ROM. Misure di outcome: intensità del dolore, disabilità, ROM attivo, forza isometrica, self-assessment della disabilità, prima e dopo 5 sett di trattamento.	infiltrazioni di corticosteroidi sono però di meno costosa somministrazione.
<i>Jerosch J, Prymka M Proprioception and joint stability. Knee surg sports traumatol arthroscop 1996</i>	<i>Revisione sistematica. Revisione della letteratura riguardo al ruolo della propriocezione nel mantenimento della stabilità articolare.</i>	<i>Non specificati i criteri di selezione degli studi</i>		<i>Le afferenze propriocettive risultano alterate in seguito a lesione articolare. Alcune procedure chirurgiche sembrano avere un effetto positivo sul recupero della propriocezione.</i>
<i>Tripp BL, Uhl TL, Mattacola CG, Srinivasan C, Shapiro R Functionl multijoint position reproduction acuity in overhead-throwing athletes. Journal of Athletic Training 2006</i>	<i>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.</i>	<i>21 giocatori di baseball della National Collegiate Athletic Association Division 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</i>	<i>Misurazione della precisione nella riproduzione attiva di posizione poliarticolare su diversi piani utilizzando un dispositivo di misurazione elettromagnetico. Calcolo dell'errore assoluto e varabile per ogni movimento a livello di articolazioni scapolotoracica, glenoumerale, di gomito e polso, e calcolo dell'errore variabile in 3D riguardo a tutte le articolazioni</i>	<i>La precisione di riproduzione di posizione articolare risulta essere significativamente migliore in arm-cock position rispetto alla posizione di rilascio della palla sia nell'articolazione scapolotoracica che in quella glenoumerale. 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 glenoumerale hanno presentato minor precisione</i>

				<i>rispetto ad altri movimenti.</i>
<i>Edmonds G, Kirkley A, Birmingham TB The effect of early arthroscopic stabilization compared to non surgical treatment on proprioception after primary traumatic anterior dislocation of the shoulder. Knee surg sports traumatol arthroscop 2003</i>	<i>RCT. Confronto dell'efficacia della stabilizzazione artroscopica e riabilitazione precoce rispetto all'immobilizzazione e riabilitazione tradizionale sulla propriocezione.</i>	<i>24 soggetti con dislocazione traumatica anteriore primaria.</i>	<i>Misurazione della propriocezione per determinare il movimento passivo e la riproduzione del posizionamento passivo a 30° e 60° di rotazione esterna.</i>	<i>La stabilizzazione artroscopica e la riabilitazione precoci non migliorano la propriocezione in misura maggiore della immobilizzazione e riabilitazione standard.</i>
<i>Myers JB, Guskiewicz KM, Schneider RA, Prentice WE Proprioception and neuromuscular control of the shoulder after muscle fatigue. J Athl Train 1999</i>	<i>RCT. Esaminare gli effetti dell'affaticamento sulla propriocezione e sul controllo neuromuscolare</i>	<i>32 soggetti (tra i 18 e i 25 anni), 16 maschi e 16 femmine senza storia di instabilità gleno-omeroale o lesioni a carico degli arti superiori.</i>	<i>Valutazione della propriocezione mediante test AAR di riproduzione attiva dell'angolo articolare (Active Angle-Reproduction), valutazione del controllo neuromuscolare mediante test di stabilità funzionale SADS (Single Arm Dynamic Stability). Entrambi i test eseguiti prima e dopo affaticamento con lavoro isocinetico.</i>	<i>L'affaticamento dei rotatori esterni ed interni riduce la propriocezione della spalla, mentre non sono ben chiari gli effetti sul controllo neuromuscolare.</i>

<p><i>Rogol et al. Open and closed kinetic chain exercises improve shoulder joint reposition sense equally in healthy subjects. J Athl Train 1998</i></p>	<p><i>RCT. Confronto degli effetti tra esercizi in catena cinetica aperta e chiusa sul senso di riposizionamento articolare della spalla.</i></p>	<p><i>39 soggetti maschi sani, 13 in ogni gruppo (catena cinetica aperta, catena cinetica chiusa e gruppo di controllo).</i></p>	<p><i>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 completa.</i></p>	<p><i>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 efficaci nel miglioramento propriocettivo</i></p>
<p><i>Myers JB et al. Reflexive muscle alterations in shoulders with anterior glenohumeral instability American Journal of Sports Medicine 2004</i></p>	<p><i>Studio solo controllo. Confronto dell'attivazione muscolare nella spalla in soggetti con instabilità glenomerale anteriore e in soggetti sani</i></p>	<p><i>11 soggetti con diagnosi di instabilità glenomerale anteriore e 11 soggetti sani di controllo</i></p>	<p><i>Misurazione tramite EMG delle caratteristiche dell'attivazione muscolare riflessa in seguito a perturbazione in posizione di abduzione a 90° nel piano della scapola ed extrarotazione della spalla</i></p>	<p><i>Nei soggetti con instabilità glenomerale anteriore si rileva una soppressione della co-attivazione della cuffia dei rotatori, una diminuzione dell'attivazione del gran pettorale e una più lenta e diminuita attivazione del bicipite brachiale</i></p>
<p><i>Glousman et al. Dynamic Electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability Journal of Bone and Joint Surgery of America 1988</i></p>	<p><i>Studio solo controllo. Confronto dell'attivazione muscolare in lanciatori esperti con instabilità anteriore di spalla e lanciatori esperti sani</i></p>	<p><i>15 lanciatori con diagnosi di instabilità anteriore cronica ricorrente e 12 lanciatori sani</i></p>	<p><i>Misurazione tramite EMG dell'attivazione muscolare di bicipite, deltoide medio,sovraspinato, sottospinato, gran pettorale, sottoscapolare, gran dorsale e dentato anteriore durante 5 fasi della sequenza del lancio</i></p>	<p><i>Nei lanciatori con instabilità il sovraspinato ha mostrato un aumento dell'attività nella prima fase e una diminuzione nell'ultima fase della preparazione del lancio e poi un aumento nella fase di rilascio della pallina; il bicipite un aumento dell'attività; sottoscapolare, gran pettorale, gran dorsale e gran dentato una diminuzione marcata</i></p>

				dell'attività rispetto ai lanciatori sani.
<i>Mc Mahon et al. Comparative electromyographic analysis of shoulder muscle during planar motions : anterior glenohumeral instability versus normal. Journal of Shoulder and Elbow Surgery 1996</i>	<i>Studio solo controllo. Confronto dell'attività elettromiografica della cuffia dei rotatori e dei muscoli scapolari di soggetti con instabilità anteriore e soggetti sani</i>	<i>23 soggetti con diagnosi di instabilità anteriore e 15 soggetti sani</i>	<i>Misurazione tramite EMG dell'attivazione muscolare di sottoscapolare, sovraspinato, sottospinato, romboide, dentato anteriore e trapezio durante l'abduzione nei piani frontale e scapolare e la flessione</i>	<i>I soggetti con instabilità rispetto ai soggetti sani mostrano una diminuzione dell'attività del sovraspinato durante l'abduzione sui piani frontale e scapolare e una diminuzione dell'attività del dentato anteriore durante tutti e tre i movimenti</i>
<i>Reddy et al. Electromyographic analysis of the deltoid and rotator cuff muscle in persons with subacromial impingement Journal of Shoulder and Elbow Surgery 2000</i>	<i>Studio solo controllo. Confronto dell'attività del deltoide e della cuffia dei rotatori in soggetti con impingement e in soggetti sani</i>	<i>15 soggetti con diagnosi di impingement e 15 soggetti sani</i>	<i>Misurazione tramite EMG dell'attività del deltoide e della cuffia dei rotatori durante l'abduzione del braccio nel piano della scapola tra i 30 e i 120°</i>	<i>I soggetti con impingement hanno mostrato una diminuzione dell'attività del sottospinato, sottoscapolare e deltoide medio tra i 30 e i 60° e una diminuzione dell'attività del sovraspinato tra i 60 e i 90° rispetto ai soggetti sani.</i>
<i>Barden et al. Dynamic upper limb proprioception in multidirectional shoulder instability Clinical Orthopaedics and Related Research 2004</i>	<i>Studio solo controllo. Confronto dell'abilità di utilizzo della propriocezione per effettuare compiti di riposizionamento dell'arto superiore in soggetti con instabilità multidirezionale sia unilaterale che bilaterale e in soggetti sani</i>	<i>12 soggetti con instabilità multidirezionale sia unilaterale che bilaterale e 12 soggetti sani</i>	<i>Misurazione tramite un sistema di video-analisi tridimensionale del movimento della riproduzione di una posizione dell'arto superiore pre-selezionata dai soggetti. I soggetti hanno effettuato 10 ripetizioni per ogni arto utilizzando tre tipologie distinte di movimento, raggiungimento di una posizione sopra la testa, puntamento nel</i>	<i>I soggetti con instabilità multidirezionale hanno mostrato errori significativi nel posizionamento della mano rispetto ai soggetti sani. Non sono state rilevate differenze di errore nel posizionamento della mano tra l'arto sintomatico e quello asintomatico all'interno del gruppo dei soggetti con instabilità. Durante lo</i>

			<i>piano della scapola, abduzione ed extrarotazione dell'omero</i>	<i>svolgimento delle ripetizioni l'accuratezza del riposizionamento è migliorata in tutti e due i gruppi, ma in modo minore per il gruppo dei soggetti con instabilità.</i>
<i>Smith & Brunolli Shoulder Kinesthesia after anterior glenohumeral dislocation Physical Therapy1989</i>	<i>Studio solo controllo. Confronto della propriocezione in spalle di soggetti normali e di soggetti con precedenti episodi di lussazione anteriore</i>	<i>8 soggetti con episodi precedenti di lussazione anteriore, 10 soggetti sani</i>	<i>Misurazione in posizione di abduzione a 90° nel piano frontale della spalla, nel movimento di extrarotazione, dell'accuratezza nella riproduzione passiva di un angolo articolare, della soglia di percezione del movimento (TTDM) e dell'accuratezza di riproduzione passiva della posizione di end-range articolare tramite apparecchio meccanico</i>	<i>I soggetti con instabilità hanno mostrato differenze propriocettive statisticamente significative in tutti e tre i test effettuati, accuratezza nella riproduzione passiva di un angolo articolare, soglia di percezione del movimento (TTDM) e riproduzione della posizione di end-range articolare.</i>

<p>Zuckerman et al. <i>The effect of instability and subsequent shoulder repair on proprioceptive ability</i> Journal of Shoulder and Elbow Surgery 2003</p>	<p>Studio prospettico. Confronto della propriocezione in soggetti con instabilità anteriore traumatica cronica, una settimana prima dell'intervento di ricostruzione della spalla e 6-12 mesi dopo l'intervento e un protocollo standard di riabilitazione</p>	<p>30 soggetti con instabilità anteriore traumatica cronica unilaterale</p>	<p>Misurazione della batiestesia mediante test di riproduzione passiva della posizione articolare, e della chinestesia mediante test TTDPM, una settimana prima dell'intervento di ricostruzione della spalla e 6-12 mesi dopo l'intervento e un protocollo standard di riabilitazione</p>	<p>Le spalle instabili hanno mostrato un deficit significativo della propriocezione rispetto alle spalle controlaterali prima dell'intervento, recuperando a 6 mesi dall'intervento la quasi totalità della percezione chinestesica e circa il 50% di quella batiestesica. A 12 mesi dall'intervento il recupero è stato completo.</p>
<p>Swanik et al. <i>The effects of shoulder plyometric training on proprioception and selected muscle performance characteristics</i> Journal of Shoulder and Elbow Surgery 2002</p>	<p>Studio prospettico. Confronto della batiestesia, della chinestesia e di alcune caratteristiche di performance muscolare prima e dopo 6 settimane di training pliometrico</p>	<p>24 nuotatrici di prima divisione senza segni di impingement o dolore alle spalle</p>	<p>Misurazione della batiestesia con un test di riproduzione passiva del movimento e della chinestesia con il test TTDPM, effettuati in intra ed extra-rotazione della spalla. Misurazione delle caratteristiche di forza con una macchina isocinetica. L'allenamento pliometrico prevedeva l'uso di elastici per due sett e poi di palle mediche e trampolini elastici.</p>	<p>Le nuotatrici hanno mostrato al termine del training un aumento della batiestesia, della chinestesia e un incremento della coordinazione e dell'efficienza neuromuscolare, dimostrato dalla capacità di mantenere più a lungo i valori di forza e dalla diminuzione del tempo di ammortizzazione.</p>
<p>Riemann & Lephart <i>The sensorimotor system, part I: the physiological basis of functional joint stability</i> Journal of Athletic Training</p>	<p>Rewiev. Definire i meccanismi fisiologici responsabili della stabilità articolare funzionale</p>	<p>Non specificati i criteri di selezione degli studi</p>		<p>Il controllo del sistema sensorimotorio sugli stabilizzatori dinamici è un meccanismo complesso che include componenti</p>

2002a				associate al controllo motorio
<i>Riemann & Lephart The sensorimotor system, part 2: the role of proprioception in motor control and functional joint stability Journal of Athletic Training 2002b</i>	<i>Rewiev.Discutere il ruolo della propriocezione nel controllo motorio e nell'attivazione degli stabilizzatori dinamici per la stabilità funzionale</i>	<i>Non specificati i criteri di selezione degli studi</i>		<i>La propriocezione ha un ruolo fondamentale nel controllo motorio e nell'attivazione degli stabilizzatori dinamici per la stabilità funzionale</i>
<i>Myers & Lephart The role of the sensorimotor system in the athletic shoulder Journal of Athletic Training 2000</i>	<i>Rewiev.Discutere il ruolo del sistema sensorimotorio nella stabilità funzionale della spalla, le influenze che hanno su di esso le lesioni e la fatica, fornire strumenti per il ripristino della stabilità funzionale della spalla dell'atleta dopo infortunio.</i>	<i>Non specificati i criteri di selezione degli studi</i>		<i>Dopo lesione capsulo-legamentosa alla spalla il diminuito input propriocettivo altera il controllo neuromuscolare contribuendo all'instabilità funzionale della spalla. La riabilitazione funzionale va integrata con quella tradizionale per riportare l'atleta alle competizioni</i>
<i>Lephart & Henry Functional rehabilitation for the upper and lower extremity Ortho Clin N Am 1995</i>	<i>Delineare i principi della riabilitazione funzionale per gli arti inferiori e superiori</i>			
<i>Davies & Dickoff-Hoffman Neuromuscular testing and Rehabilitation J Orthop Sports Phys Ther. 1993</i>	<i>Passare in rassegna i meccanismi di controllo neuromuscolare della spalla, descrivere una routine di esercizi per migliorare la propriocezione e il controllo neuromuscolare, proporre misure di</i>			

	<i>outcome funzionale</i>			
<i>Lephart et al. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries Am J Sports Med 1997</i>	<i>Rewiev. Esaminare il ruolo della propriocezione nel trattamento delle lesioni dell'atleta</i>			

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

3. Introduzione

Il compito principale della spalla è il posizionamento dell'arto superiore ai fini di una piena funzionalità della mano. Per questa ragione la geometria ossea dell'articolazione glenomerale permette un alto livello di mobilità.

La grande capacità di movimento va a discapito però della stabilità dell'articolazione. La mancanza di stabilità ossea e la complessità del movimento della spalla richiedono una complessa sinergia tra le strutture di stabilizzazione passive e le strutture di stabilizzazione attive per il mantenimento della stabilità funzionale. L'interazione tra questi due sub-sistemi è mediata dal sistema sensorimotorio. Il sistema sensorimotorio comprende le componenti sensoriale, motoria, e di integrazione/processazione del sistema nervoso centrale, che contribuiscono alla stabilità funzionale dell'articolazione (Myers & Lephart 2000, Myers et al 2006).

L'informazione sensoriale (propriocezione), viaggia lungo vie afferenti verso il sistema nervoso centrale, dove viene integrata con altri input di tipo somatosensoriale, visivo e vestibolare. Il SNC, di rimando, elicitando risposte motorie efferenti (controllo neuromuscolare), essenziali per la generazione di pattern di movimento coordinati e per la stabilità funzionale dell'articolazione (Myers & Lephart 2002).

Si definisce propriocezione l'informazione afferente che comprende tre sub-modalità, chinestesia, batiestesia e sensazione di forza. La chinestesia è la capacità di apprezzare consciamente il movimento articolare, la batiestesia la capacità di riconoscere la posizione

articolare, la sensazione di forza l'abilità di apprezzare la forza prodotta in un'articolazione (figura 1).

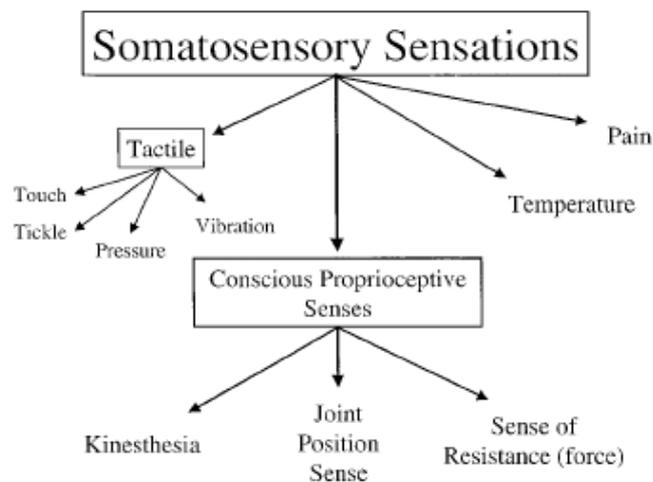


Figure 2. Sensations arising from somatosensory sources.

Figura 1

Queste tre sub-modalità possono venir processate a livello sia conscio che inconscio, mediando il controllo neuromuscolare (Riemann & Lephart 2002 a,b , Myers et al. 2006).

Le informazioni propriocettive originano a livello dei meccanocettori o “propriocettori” presenti nei muscoli, nei tendini, nelle fasce, nelle strutture capsulo-legamentose e nella cute relative all'articolazione. Per quanto riguarda la spalla, studi recenti hanno verificato la presenza di terminazioni nervose nelle strutture capsulo-legamentose (Diederichsen et al 2002). Siccome le strutture capsulo-legamentose sono lasse nelle posizioni di mid-range articolare, sembra che i meccanocettori contribuiscano all'informazione propriocettiva solo nelle posizioni di end-range, quando questi vengono deformati. Il tensionamento a spirale della capsula che avviene con l'abduzione e l'extrarotazione dell'articolazione glenomerale mettendo in tensione le strutture capsulo-legamentose stimolerebbe i meccanocettori in esse presenti (Nyland et al 1998).

Oltre ai meccanocettori delle strutture capsulo-legamentose, anche i meccanocettori delle strutture muscolo-tendinee giocano un ruolo fondamentale nel fornire gli input propriocettivi. Sia gli Organi Tendinei del Golgi che i Fusi Neuromuscolari sono presenti nella muscolatura che circonda la spalla. Gli OTG forniscono afferenze a feedback riguardo la posizione articolare e la tensione muscolare e la loro stimolazione da origine ad un meccanismo protettivo riflesso, attraverso la facilitazione al rilassamento del muscolo sotto tensione e alla contrazione del muscolo antagonista.

I FN, grazie alla co-attivazione degli alfa e gamma-motoneuroni e alla contrazione in parallelo delle fibre extra ed intra-fusali, sono sensibili in tutto il ROM articolare, segnalando continuamente cambiamenti di lunghezza e di velocità di variazione di lunghezza del muscolo (Riemann & Lephart 2002 a,b).

Le informazioni propriocettive afferenti, provenienti dai recettori muscolo-tendinei, capsulo-legamentosi e cutanei, integrate con le efferenze modulatorie discendenti che giungono dai livelli superiori del SNC, sembrerebbero poi convergere sui gamma-motoneuroni (fig 2). Tutti gli input sarebbero integrati in modo tale da dare origine a un segnale unico che passa dal FN al SNC. A causa dell'influenza delle afferenze provenienti dalle strutture capsulo-legamentose sui FN appare chiaro il ruolo propriocettivo complementare dei recettori capsulo-legamentosi e muscolo-tendinei (Myers & Lephart 2000, Riemann & Lephart 2002 a,b)

Le afferenze propriocettive sono processate a tre livelli distinti di controllo motorio nel SNC, il livello spinale, il livello del tronco encefalico e i livelli superiori (corteccia cerebrale, gangli della base e cervelletto). Ogni livello elicitare risposte motorie uniche, essenziali per la generazione di movimenti coordinati e per la stabilità funzionale dell'articolazione (Figura 2).

Il livello spinale dà origine a risposte motorie dirette, sotto forma di riflessi e di pattern di controllo motorio elementari.

A livello del tronco encefalico l'informazione propriocettiva viene integrata con gli input visivi e vestibolari, ai fini del controllo dei pattern di movimento automatici e stereotipati e per il controllo della postura e dell'equilibrio.

A livello della corteccia cerebrale avviene la percezione conscia della propriocezione, che gioca qui un ruolo nella generazione dei movimenti volontari che sono immagazzinati sotto forma di comandi centrali. A questo livello sembra che le afferenze propriocettive permettano l'esecuzione di attività senza il riferimento alla coscienza. Il livello corticale dà inizio e modula sia i movimenti singoli che quelli complessi, oltre a preparare e ad organizzare i comandi motori. Il cervelletto agisce come sistema di comparazione ed inconsciamente utilizza le informazioni afferenti per confrontare i movimenti effettuati con quelli programmati, giocando un ruolo fondamentale nel controllo motorio (Riemann & Lephart 2002 a,b, Myers & Lephart 2000)

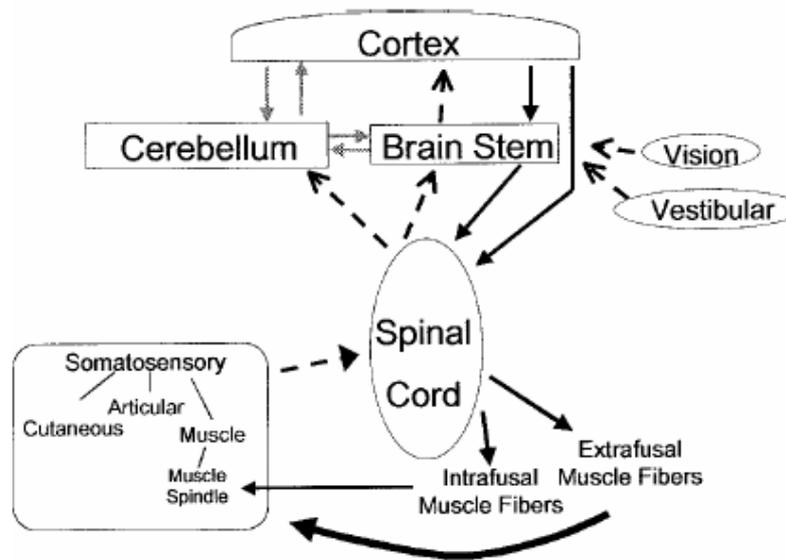


Figura 2

Il controllo neuromuscolare, dal punto di vista della stabilità dell'articolazione, è rappresentato dall'attivazione inconscia dei vincoli dinamici che avviene in preparazione e in risposta al movimento e al carico dell'articolazione, allo scopo di mantenerne e ristabilirne la stabilità funzionale. I meccanismi di controllo neuromuscolare includono l'attivazione coordinata dei muscoli durante un compito funzionale, la co-attivazione della muscolatura stabilizzatrice (force coupling), i riflessi muscolari e la regolazione della "stiffness" e del tono muscolari (Myers et al. 2006).

La co-attivazione degli stabilizzatori dinamici è fondamentale per la stabilità funzionale della spalla. A livello glenomerale agiscono varie coppie di forze, le quali sono generate da due o più muscoli che si contraggono simultaneamente producendo una risultante che incrementa la compressione articolare e garantisce così la massima congruenza delle superfici articolari. Le due principali coppie di forze a livello glenomerale vedono il deltoide superiormente opposto al sottospinato e al piccolo rotondo inferiormente, e il sottoscapolare anteriormente opposto a sottospinato e piccolo rotondo posteriormente. La cuffia dei rotatori è essenziale per centralizzare la testa dell'omero nella fossa glenoidea, impedendone eccessive traslazioni. L'equilibrio di forze che stabilizza la testa dell'omero è il risultato dell'azione sinergica e coordinata di tutta la muscolatura che agisce sull'articolazione glenomerale. Quando queste forze non sono bilanciate si può verificare una meccanica articolare scorretta e un'instabilità glenomerale.

Un'altra coppia di forze importante è composta da dentato anteriore e trapezio. Essa garantisce la stabilità funzionale della scapola rendendola una base stabile per l'articolazione glenomerale (Myers & Lephart 2000).

Il riflesso di stabilizzazione è una risposta neuromuscolare efferente elicitata a livello spinale. E' stato dimostrato nell'uomo un riflesso tra la capsula glenomerale e i muscoli deltoide, trapezio, gran pettorale e cuffia dei rotatori. Inizialmente si credeva che questi riflessi avessero un ruolo primario nella stabilizzazione dell'articolazione. Le strutture passive vengono deformate a seguito dell'applicazione di una forza perturbante sull'articolazione elicitando, con un meccanismo a feedback, una contrazione riflessa della muscolatura stabilizzatrice. Il problema è che il lasso di tempo tra la deformazione del tessuto e la stimolazione dei meccanocettori, e la conseguente risposta riflessa muscolare, è troppo lungo, e inoltre la risposta è troppo debole per poter contrastare un evento traumatico destabilizzante l'articolazione. Questo riflesso potrebbe però avere un ruolo nella modificazione di risposte pre-programmate più efficaci. Esso, regolando la lunghezza delle fibre sia intra che extra-fusali, avrebbe la funzione di ammortizzazione sui pattern di risposta programmati, prevenendo oscillazioni e movimenti scoordinati (Myers & Lephart 2002).

Il meccanismo più importante, responsabile della stabilità funzionale dell'articolazione, è quello della contrazione muscolare preparatoria grazie alla sua influenza sulla "stiffness" muscolare. La stiffness muscolare aumenta in conseguenza della pre-attivazione muscolare. La stiffness muscolare è definita dal rapporto tra la variazione della forza e la variazione della lunghezza. Il suo incremento si oppone all'allungamento del muscolo, innalza la sensibilità dei fusi neuromuscolari e riduce il ritardo elettromeccanico legato al riflesso di stabilizzazione.

L'informazione propriocettiva derivante dalle esperienze precedenti viene assimilata e immagazzinata, per poi esser utilizzata per la pianificazione e l'esecuzione di pattern motori come l'attivazione muscolare preparatoria, che coinvolge i muscoli della spalla prima che questa sia sottoposta ad un carico esterno. Questa pre-attivazione muscolare offre una rapida risposta compensatoria nei confronti del carico esterno, garantendo la stabilità articolare funzionale (Myers & Lephart 2000).

4. Valutazione della propriocezione e del controllo neuromuscolare

La propriocezione e il controllo neuromuscolare possono essere valutate clinicamente mediante la valutazione delle vie afferente ed efferente. La via afferente viene valutata attraverso l'esame di chinestesia e batiestesia, cioè attraverso la misurazione della percezione conscia del soggetto rispettivamente del movimento e della posizione articolare. La chinestesia si esamina clinicamente stabilendo la soglia di percezione del movimento passivo (TTDPM, Threshold To Detection of Passive Motion), utilizzando strumentazioni del tipo di quella in figura 3 .

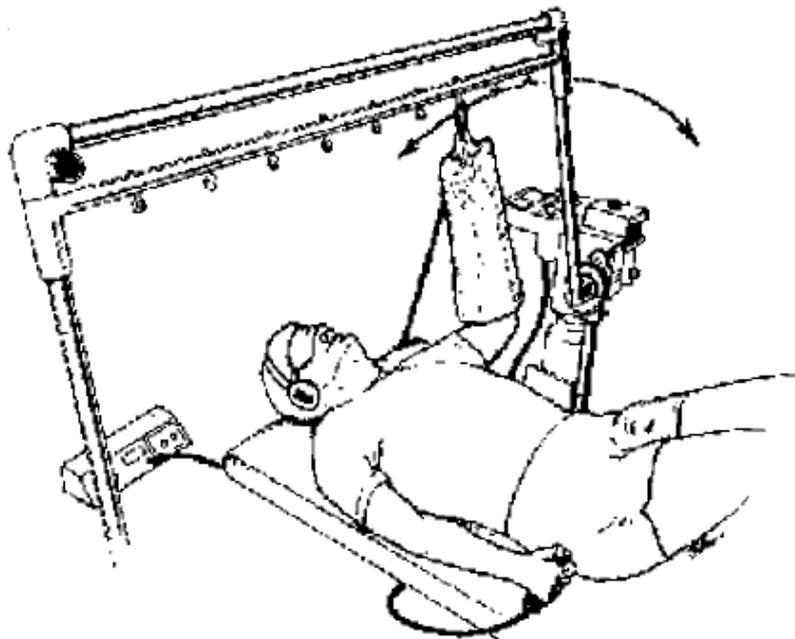


Figura 3

Il soggetto è bendato, indossa le cuffie e un bracciale pneumatico, in modo tale da eliminare le afferenze tattili, visive e uditive e far sì che utilizzi esclusivamente le afferenze propriocettive. Il braccio viene ruotato passivamente ad una velocità che varia tra gli $0,5^\circ$ e i 2° al secondo. Sembra che basse velocità forniscano risultati più omogenei, rendendo più attendibile il test. Il soggetto fa un segnale non appena avverte il movimento e quindi viene registrato il grado di rotazione glenomerale necessario prima che avvenga la percezione del movimento stesso. Il test viene eseguito con la rotazione esterna ed

interna della spalla, sia nel mid-range che nell'end-range dei suddetti movimenti (Zuckerman et al. 2003, Safran et al. 2001).

La batiestesia si esamina testando l'abilità del soggetto nel riprodurre attivamente o passivamente un determinato angolo articolare. La batiestesia può essere misurata mediante l'utilizzo di diversi strumenti tra cui macchine isocinetiche (fig 4), goniometri standard, elettrogoniometri e sistemi elettromagnetici di analisi del movimento (fig 5)



Figura 4

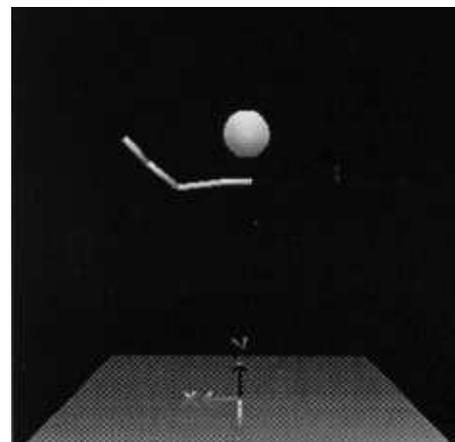


Figura 5

La valutazione della batiestesia misura l'abilità del soggetto nell'apprezzare la posizione del proprio braccio nello spazio. I protocolli di test prevedono inizialmente il posizionamento dell'arto del soggetto in una posizione standard. Il soggetto deve poi riprodurre la suddetta posizione. Variazioni del test ne prevedono la riproduzione in maniera attiva o passiva. Come per la valutazione della chinestesia le afferenze tattili e visive sono precluse (Smith e Brunolli 1989, Zuckerman et al. 2003, Safran et al. 2001, Myers et al. 1999).

Oltre alle metodologie di valutazione standard, per la valutazione della propriocezione è interessante l'utilizzo dei sistemi elettromagnetici di analisi del movimento. Dato che l'input propriocettivo influenza la performance motoria, è interessante valutare la riproduzione dei pattern di movimento, ad esempio di un gesto atletico come quello mostrato in figura 5. Utilizzando il software di analisi del movimento, il clinico può quantificare il grado di variazione tridimensionale tra il pattern di movimento presentato, e quello poi riprodotto dal soggetto esaminato. Il sistema di analisi del movimento permette una valutazione più efficace della propriocezione, testando posizioni più funzionali (Tripp et al 2006).

Le risposte efferenti che risultano dagli input propriocettivi vengono misurate attraverso la valutazione del controllo neuromuscolare. Questa valutazione include l'esame dei pattern di attivazione muscolare effettuato attraverso l'elettromiografia (EMG), l'esame della performance muscolare mediante macchine isocinetiche, e i test funzionali.

L'EMG registra l'attività muscolare misurando i potenziali elettrici associati alla contrazione muscolare. Nello specifico della spalla l'EMG è stata usata per analizzare l'attività muscolare durante l'attività sportiva, per evidenziare alterazioni nel controllo neuromuscolare in seguito a lesioni o a programmi di riabilitazione (Kelly et al. 2005, Reddy et al. 2000, Mc Mahon et al. 1996).

Le macchine isocinetiche possono essere un valido strumento nella valutazione della performance muscolare. Misurando caratteristiche come la forza, il lavoro e la potenza, possono essere valutati gli adattamenti, le variazioni della performance muscolare, provocati da una lesione, dall'affaticamento, o da un programma riabilitativo (Swanik et al. 2002).

Infine, il controllo neuromuscolare può essere valutato in maniera indiretta attraverso l'uso di test funzionali di performance. Davies e Dickoff-Hoffman (1993) hanno ideato il

“Functional Throwing Performance Index” per valutare la performance funzionale della spalla dopo una lesione o dopo un intervento chirurgico. Il soggetto deve lanciare una palla di gomma dentro un riquadro di 30cmx30cm, raffigurato sul muro di fronte a lui, il maggior numero di volte possibili in un tempo di 30 secondi. L’indice di performance viene calcolato dividendo il numero totale dei lanci per il numero di lanci che hanno colpito l’obiettivo.

Myers et al. (1999) hanno descritto un test di stabilità dinamica in appoggio su un braccio (SADS, Single Arm Dynamic Stability). Il soggetto è in posizione di push-up con la sola mano al centro di una pedana stabilometrica e con i piedi su di una superficie instabile (fig 6). Egli deve mantenere la posizione per un determinato tempo rimanendo più fermo possibile, durante il quale vengono registrati il numero di oscillazioni del centro di gravità e il numero di volte in cui il soggetto perde l’equilibrio e va a toccare con l’altra mano il pavimento.

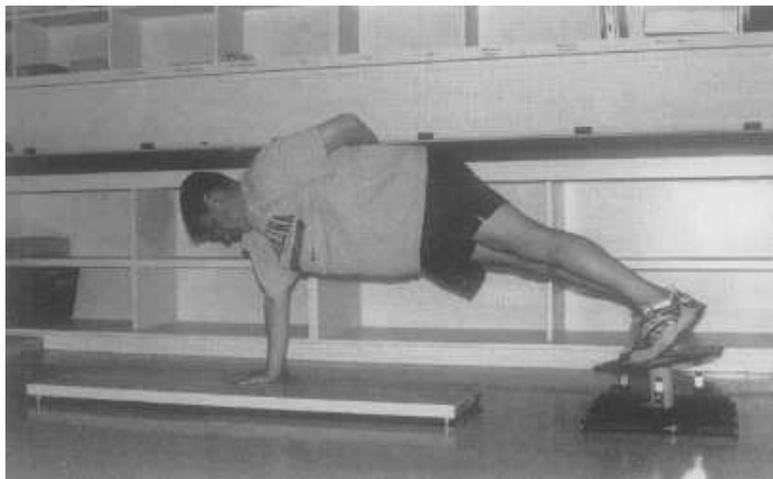


Figura 6

Tutti i metodi di valutazione della propiocezione e del controllo neuromuscolare sopra descritti rappresentano strumenti validi sia per il ricercatore che per il terapeuta. Essi sono mezzi efficaci per valutare lo stato del sistema sensorimotorio e i deficit a cui questo può andare incontro a seguito di lesioni o affaticamento. Inoltre forniscono misure di efficacia per un intervento di tipo riabilitativo o chirurgico rivolto a migliorare la propiocezione e il controllo neuromuscolare.

Blasier e collaboratori, in uno studio del 1994 (Lephart & Fu, Proprioception and neuromuscular control in joint stability, Human Kinetics 2000), hanno testato 29 soggetti con spalle senza patologie riconosciute. Essi hanno misurato l'abilità dei soggetti di percepire la rotazione passiva del braccio con la spalla abdotta a 90°. Essi hanno verificato che gli individui che presentavano lassità articolare generalizzata erano meno sensibili nel percepire il movimento rispetto a soggetti con articolazioni meno lasse. La propriocezione era più accurata nella rotazione esterna che nella rotazione interna e soprattutto nell'end-range della rotazione esterna. Gli autori hanno concluso che il tensionamento della capsula gioca un ruolo importante nel meccanismo della propriocezione.

Nello studio di Lephart et al del 1994 (Lephart & Fu, Proprioception and neuromuscular control in joint stability, Human Kinetics 2000) è stata misurata la propriocezione della spalla in 90 soggetti, divisi in tre gruppi: 40 soggetti normali (gruppo 1 di controllo), 30 pazienti con instabilità anteriore e una storia di lussazioni o sub-lussazioni ricorrenti e che avevano fallito il programma riabilitativo (gruppo 2), 20 pazienti che avevano subito un intervento di ricostruzione della spalla per instabilità anteriore traumatica (gruppo tre). Sono state misurate la batiestesia (test di riproduzione del movimento passivo) e la chinestesia (test TTDM). Nel gruppo 1 non sono state rilevate differenze significative tra la spalla dominante e quella non dominante in entrambi i test. Nel gruppo 2 le spalle instabili hanno mostrato deficit propriocettivi in entrambi i test rispetto alle spalle controlaterali dei medesimi soggetti. Nel gruppo 3 le spalle operate non hanno mostrato differenze propriocettive rispetto alle controlaterali in alcuno dei test. Gli autori hanno concluso che la dominanza di emilato non incide sulla sensibilità della propriocezione e che gli individui con instabilità anteriore traumatica cronica hanno significativi deficit propriocettivi che possono essere normalizzati con intervento chirurgico.

Allegrucci et al., nello studio del 1995, (Lephart & Fu, Proprioception and neuromuscular control in joint stability, Human Kinetics 2000), hanno misurato la chinestesia nelle spalle di atleti "overhead" valutando il TTDP, riscontrandone una diminuzione nell'arto dominante rispetto al controlaterale. Essi hanno ipotizzato che questa diminuzione sia dovuta ad un incremento della lassità capsulare causata dalla ripetizione del gesto atletico.

Nello studio di Barden et al. (2004), è stata confrontata l'abilità di utilizzo della propriocezione per effettuare compiti di riposizionamento dell'arto superiore in soggetti con instabilità multidirezionale sia unilaterale che bilaterale e in soggetti sani mediante un sistema di video-analisi tridimensionale del movimento. I soggetti sono stati istruiti ad usare la propriocezione per riprodurre una posizione dell'arto superiore da loro pre-

selezionata il più accuratamente possibile. I soggetti hanno effettuato 10 ripetizioni per ogni arto utilizzando tre tipologie distinte di movimento, raggiungimento di una posizione sopra la testa, puntamento nel piano della scapola, abduzione ed extrarotazione dell'omero. I soggetti con instabilità multidirezionale hanno mostrato errori significativi nel posizionamento della mano rispetto ai soggetti sani. Non sono state rilevate differenze di errore nel posizionamento della mano tra l'arto sintomatico e quello asintomatico all'interno del gruppo dei soggetti con instabilità. Durante lo svolgimento delle ripetizioni l'accuratezza del riposizionamento è migliorata in tutti e due i gruppi, ma in modo minore per il gruppo dei soggetti con instabilità. Gli autori hanno ipotizzato che dopo l'inizio del movimento, la propriocezione dinamica ha migliorato l'accuratezza della prestazione in tutti e due i gruppi, in maniera minore nel gruppo dei soggetti con instabilità a causa della ridotta capacità di utilizzo della propriocezione per il controllo dell'output motorio dell'arto superiore.

Zuckerman et al. (2003) hanno esaminato la propriocezione in 30 pazienti con instabilità anteriore traumatica cronica, valutandone la batiestesia mediante test di riproduzione passiva della posizione articolare, e la chinestesia mediante test TTDPM, una settimana prima dell'intervento di ricostruzione della spalla e 6-12 mesi dopo l'intervento e un protocollo standard di riabilitazione. Le spalle instabili hanno mostrato un deficit significativo della propriocezione rispetto alle spalle controlaterali prima dell'intervento, recuperando a 6 mesi dall'intervento la quasi totalità della percezione chinestesica e circa il 50% di quella batiestesica. A 12 mesi dall'intervento il recupero è stato completo. Gli autori hanno ipotizzato che dopo il ritensionamento della capsula la propriocezione provenga dai recettori non lesionati. Dopo l'intervento e la riabilitazione i recettori articolari e muscolari potrebbero essere riattivati con conseguente miglioramento del controllo neuromuscolare della spalla. Non può essere valutato il contributo relativo del trattamento riabilitativo a questi risultati.

Uno studio interessante di Tibone et al. del 1997 effettuato con l'utilizzo dei potenziali evocati, non riporta differenze tra soggetti sani e soggetti con instabilità. Essendo stati i meccanoceettori stimolati dal potenziale elettrico anziché dalla deformazione dei tessuti, i risultati suggeriscono che sia esclusivamente la lassità capsulare, e non la deafferentazione dovuta al trauma a carico dei meccanoceettori, la causa del deficit propriocettivo (Myers et al. 2006).

Safran et al. (2001) hanno esaminato le differenze propriocettive tra la spalla dominante e quella non dominante in 21 lanciatori di baseball senza problemi di instabilità di spalla.

Hanno utilizzato il test TTDPM per la valutazione cinestesia e il test di riproduzione passiva della posizione articolare (RPP, Reproduce Passively joint Positioning) per la valutazione della batiestesia. Tutti gli atleti presentavano una maggior lassità capsulare anteriore, testimoniata da un'aumentato ROM in extrarotazione, delle spalle dominanti rispetto alle non dominanti, che faceva ipotizzare una diminuzione della propriocezione nelle spalle dominanti. Malgrado ciò gli autori non hanno rilevato differenze statisticamente rilevanti nella propriocezione tra le spalle dominanti e quelle non dominanti, a causa probabilmente della metodologia d'indagine utilizzata. Essi hanno riscontrato differenze tra le spalle dominanti e non dominanti dei lanciatori che avevano avuto una storia recente di dolore alla spalla dovuta ad infiammazione della cuffia. Gli autori hanno ipotizzato un ruolo del dolore nell'alterazione delle afferenze propriocettive.

Lo studio di Cuomo et al. del 2005 ha rilevato deficit propriocettivi in pazienti con osteoartrite. Gli autori hanno attribuito questi deficit alla diminuzione dell'attività e all'atrofia dei muscoli della spalla e alle aumentate afferenze dolorifiche che sovrasterebbero quelle propriocettive (Myers et al 2006).

Oltre ai deficit propriocettivi, lesioni dell'articolazione glenomerale comportano anche alterazioni del controllo neuromuscolare.

Glousman et al. (1988), hanno confrontato l'attività di vari muscoli della spalla e del cingolo scapolare di 15 lanciatori di baseball con instabilità anteriore e di 12 lanciatori sani durante le varie fasi del lancio mediante l'utilizzo dell'EMG. I lanciatori con instabilità hanno mostrato un leggero aumento dell'attività del bicipite e del sovraspinato rispetto ai sani. Nei lanciatori con instabilità il sovraspinato ha mostrato un aumento dell'attività nella prima fase e una diminuzione nell'ultima fase della preparazione del lancio e poi un aumento nella fase di rilascio della pallina; sottoscapolare, gran pettorale, gran dorsale e gran dentato una diminuzione marcata dell'attività rispetto ai lanciatori sani. Gli autori hanno ipotizzato che il leggero aumento dell'attività del bicipite e del sovraspinato potrebbero compensare la lassità anteriore, e che la marcata riduzione dell'attività di sottoscapolare, gran pettorale, gran dorsale e gran dentato potrebbero aggravare l'instabilità anteriore diminuendo la forza di intrarotazione che è necessaria nell'ultima parte della fase di preparazione del lancio e nella fase di accelerazione.

Lo studio di Kronberg et al. del 1991 ha rilevato una diminuzione dell'attività del deltoide anteriore e laterale durante la flessione e l'abduzione della spalla e un incremento dell'attività del sottoscapolare durante la rotazione interna in soggetti con lassità generalizzata (Myers et al 2006).

Un interessante studio di Myers et al. (2004) ha esaminato i riflessi muscolari in spalle di soggetti con instabilità anteriore. I pazienti con instabilità hanno mostrato una diminuzione dell'attivazione riflessa del gran pettorale e del bicipite brachiale, una latenza significativa del riflesso del bicipite brachiale e una soppressione della coattivazione di sovraspinato e sottoscapolare. Gli autori hanno ipotizzato che queste alterazioni possano contribuire al verificarsi di episodi di instabilità ricorrente in pazienti con instabilità glenomerale.

Mc Mahon et al. (1996) hanno esaminato l'attività elettromiografica della cuffia dei rotatori e dei muscoli scapolari in soggetti normali e in soggetti con instabilità anteriore durante l'abduzione sui piani frontale e scapolare e la flessione. Essi hanno riscontrato nei soggetti con instabilità rispetto ai soggetti sani una diminuzione dell'attività del sovraspinato durante l'abduzione sui piani frontale e scapolare e una diminuzione dell'attività del dentato anteriore durante tutti e tre i movimenti. Questi risultati suggeriscono che la coppia di forze cuffia dei rotatori/deltoide e i meccanismi di stabilizzazione scapolare, fondamentali per la stabilità funzionale glenomerale e pattern di movimento coordinati, possano essere influenzati negativamente.

Anormalità nell'attivazione sono state riscontrate anche in associazione ad impingement subacromiale e lesioni della cuffia dei rotatori.

Reddy et al. (2000) hanno misurato con l'EMG l'attività del deltoide e della cuffia dei rotatori durante l'abduzione del braccio nel piano della scapola tra i 30 e i 120° in soggetti con impingement e in soggetti sani. Essi hanno verificato nei soggetti con impingement una diminuzione dell'attività del sottospinato, sottoscapolare e deltoide medio tra i 30 e i 60° e una diminuzione dell'attività del sovraspinato tra i 60 e i 90° rispetto ai soggetti sani.

Ludewig and Cook in uno studio del 2000 hanno misurato con l'EMG l'attività degli stabilizzatori della scapola durante l'elevazione del braccio nel piano scapolare in soggetti sani e soggetti con impingement, riscontrando in questi ultimi una diminuzione dell'attività del dentato anteriore (Myers et al 2006).

6. Effetti dell'affaticamento sulla propriocezione e sul controllo neuromuscolare

Similmente alle lesioni dell'articolazione anche l'affaticamento muscolare sembra influenzare la propriocezione e il controllo neuromuscolare. Diversi meccanismi alla base della fatica sono stati descritti come cause possibili della diminuzione degli input propriocettivi che a sua volta influenzerebbe il controllo neuromuscolare. Purtroppo riguardo a questo aspetto non possono essere tratte conclusioni definitive.

L'affaticamento sembra desensibilizzare i fusi neuromuscolari, influenzando la batiestesia e quindi le risposte neuromuscolari essenziali per la stabilità articolare. Questa desensibilizzazione sarebbe provocata da cambiamenti nel metabolismo muscolare (Myers et al. 1999).

Un meccanismo indiretto, indipendente dalla fatica muscolare ma risultante dalla ripetizione prolungata del gesto, è determinato invece dall'aumento della lassità legamentosa che avviene con l'esercizio. Durante il carico ciclico, avvengono cambiamenti determinati dalle proprietà viscoelastiche del legamento che ne diminuiscono la stiffness. Questa diminuzione può desensibilizzare i meccanocettori presenti nel legamento alterando il feedback propriocettivo. La desensibilizzazione dei meccanocettori unita alla diminuzione della stiffness capsulo-legamentosa può compromettere la stabilità nelle posizioni più vulnerabili di massima rotazione (Myers & Lephart 2000).

Nello studio di Carpenter et al. del 1998 è stata riscontrata una diminuzione della propriocezione dopo affaticamento usando la valutazione del TTDPM (Threshold To Detection of Passive Motion). Gli autori hanno misurato incrementi nella latenza di percezione del movimento del 73% sia per la rotazione interna che per per la rotazione esterna. Essi hanno concluso che la diminuzione della chinestesia dopo affaticamento può influire negativamente sulla prestazione atletica e contribuire a disfunzioni della spalla (Myers et al. 1999)

Myers et al. (1999) hanno valutato gli effetti della fatica sulla propriocezione e sul controllo neuromuscolare in 32 soggetti, studenti del college fisicamente attivi. Essi hanno sottoposto i soggetti a due test, in sessioni separate, il test AAR di riproduzione attiva dell'angolo articolare (Active Angle-Reproduction) per valutare la propriocezione, e il test di stabilità funzionale SADS (Single Arm Dynamic Stability) per valutare il controllo

neuromuscolare. Entrambi i test sono stati eseguiti prima e dopo affaticamento con lavoro isocinetico. Gli autori hanno riscontrato una diminuzione significativa della capacità di riprodurre la posizione articolare dopo affaticamento. I risultati riguardo gli effetti sul controllo neuromuscolare sono invece contraddittori. Infatti da un lato la velocità delle oscillazioni del centro di gravità non è influenzata dall'affaticamento, dall'altro però gli autori hanno misurato un numero di eventi compensatori (recupero della stabilità mediante appoggio dell'altro braccio) decisamente superiore (14 appoggi del braccio contro 1) dopo l'affaticamento rispetto che a prima. A causa della compressione della testa dell'omero nella fossa glenoidea che comporta la posizione in catena cinetica chiusa, vi è una stimolazione dei meccanorecettori articolari che elicitava una risposta in co-contrazione della muscolatura delle coppie di forza che stabilizzano la spalla. La fatica dei meccanocettori presenti nella muscolatura stabilizzatrice dovrebbe pregiudicare la sua capacità di co-contrazione influenzando negativamente la capacità del soggetto di mantenere la posizione di push-up su un solo braccio. Gli autori suggeriscono la necessità di ulteriori ricerche per chiarire questo aspetto.

Le implicazioni dell'effetto negativo che l'affaticamento mostra sulla propriocezione e sul controllo neuromuscolare sono duplici. Primo l'alterazione del feedback propriocettivo e conseguentemente delle risposte neuromuscolari può condurre ad instabilità funzionale e potenzialmente a lesioni delle strutture muscolo-scheletriche e capsulo-legamentose. Secondo se c'è un'alterazione del senso di posizione articolare, specialmente nelle posizioni più vulnerabili, ne può conseguire una predisposizione a lesioni dovuta all'incremento dello stress meccanico sulle strutture di stabilizzazione passive e attive responsabili della stabilità dell'articolazione (Myers & Lephart 2000).

7. Riabilitazione della propriocezione e del controllo neuromuscolare

In seguito a lesioni articolari della spalla, sia che venga scelto un approccio chirurgico che conservativo, la riabilitazione gioca un ruolo fondamentale per il recupero della piena funzionalità. La riabilitazione deve essere indirizzata alla riduzione del dolore e dell'infiammazione, al recupero del ROM articolare e della flessibilità e al ripristino della forza. Molti studi si sono occupati di analizzare tramite EMG l'attività muscolare durante

vari esercizi al fine di individuare i migliori esercizi per il rinforzo dei muscoli stabilizzatori glenomerale e scapolari. Questi esercizi costituiscono il fondamento dei protocolli riabilitativi tradizionali per l'instabilità di spalla. Tuttavia, considerando i meccanismi neuromuscolari che sottintendono alla stabilizzazione dinamica della spalla, sembrerebbe che i protocolli riabilitativi tradizionali non si indirizzino specificatamente al recupero dei deficit propriocettivi e neuromuscolari che contribuiscono all'instabilità funzionale della stessa, risultando in un trattamento incompleto. Al fine di eliminare questi deficit e ripristinare una stabilizzazione dinamica efficace è necessario un approccio riabilitativo che stimoli i meccanismi neuromuscolari (Lephart & Henry 1995, Lephart et al. 1997, Myers & Lephart 2000)

Lephart, insieme ai collaboratori del Laboratorio di Ricerca Neuromuscolare, ha proposto in vari articoli scientifici (Lephart & Henry 1995, Lephart et al. 1997, Myers & Lephart 2000, Myers et al. 2006) una "riabilitazione funzionale" che deve essere integrata nei protocolli riabilitativi tradizionali. La riabilitazione funzionale è concepita soprattutto per l'atleta ma può essere applicata in generale nel contesto di un trattamento rivolto al recupero della massima funzionalità gesto-specifica.

La riabilitazione funzionale è rivolta all'incremento della sensibilità dei meccanocettori presenti nelle strutture capsulo-legamentose e muscolo-tendinee, al ripristino delle vie afferenti, alla facilitazione della co-attivazione delle coppie di forze, alla stimolazione delle contrazioni muscolari reattive e preparatorie e all'aumento della stiffness muscolare. La riabilitazione funzionale dovrebbe riprodurre le richieste funzionali specifiche a cui viene sottoposta la spalla durante l'attività sportiva, rendendo meno stressante il passaggio alla piena attività. Per raggiungere questi obiettivi la riabilitazione funzionale deve lavorare su quattro aspetti:

- 1. La consapevolezza della propriocezione**
- 2. Il ripristino della stabilizzazione dinamica**
- 3. La facilitazione della contrazione muscolare reattiva e preparatoria**
- 4. La riproduzione delle attività funzionali**

Ripristino della consapevolezza della propriocezione. In questa fase gli obiettivi sono il ripristino delle vie afferenti che portano l'informazione dai meccanocettori dell'articolazione lesa al SNC, e la facilitazione di un meccanismo compensatorio che utilizzi vie afferenti alternative.

Grazie al minimo rischio di aggravamento della lesione che garantisce il training propriocettivo, sia la chinestesia che la batiestesia possono essere allenate precocemente nel trattamento riabilitativo.

Il senso di posizione articolare può essere allenato utilizzando macchine isocinetiche, apparecchiature di valutazione della propriocezione, goniometri, strumenti di analisi elettromagnetica del movimento. Più semplicemente si può posizionare l'arto superiore del paziente in una determinata posizione per poi istruirlo a riprodurre la posizione articolare più accuratamente possibile. Inizialmente gli esercizi possono essere eseguiti con facilitazioni di tipo visivo, progredendo poi con l'eliminazione di queste facilitazioni bendando il paziente. Il senso di posizione articolare deve essere esercitato sia nelle posizioni di mid-range articolare per stimolare i meccanocettori muscolo-tendinei, sia nelle posizioni più vulnerabili di end-range articolare per stimolare le afferenze capsulo-legamentose. Il training deve includere sia la riproduzione passiva della posizione articolare, nella quale il terapeuta, la macchina isocinetica o l'apparecchio di valutazione della propriocezione muove l'arto del paziente fino a che questo non segnala il raggiungimento della posizione articolare richiesta, sia la riproduzione attiva della posizione articolare, nella quale è il paziente a portare l'arto nella posizione richiesta. Una variazione interessante dell'esercizio prevede che il paziente riproduca un pattern di movimento, ad esempio una parte del gesto del lancio, piuttosto che una posizione articolare. In questo modo si aggiunge un importante elemento di funzionalità all'esercizio. Il training della chinestesia può essere facilmente eseguito eliminando le afferenze visive e uditive e utilizzando macchinari isocinetiche, apparecchi di valutazione della propriocezione o semplicemente mediante il movimento manuale dell'arto del paziente da parte del terapeuta. Il paziente deve dare un segnale, ad esempio schiacciare un pulsante, non appena percepisce il movimento. La registrazione della quantità di movimento che compie l'arto prima che il paziente percepisca il movimento permette la quantificazione dei progressi.

Ripristino della stabilizzazione dinamica. In questa fase della riabilitazione l'obiettivo primario è il ripristino della co-attivazione sinergica delle coppie di forze che garantiscono la stabilità dinamica della spalla. Vi sono due coppie di forze che lavorano intorno all'articolazione glenomerale e due coppie di forze che lavorano intorno all'articolazione scapolotoracica.

Facilitando la co-attivazione delle coppie di forze intorno all'articolazione glenomerale, il vettore risultante centralizza e comprime la testa dell'omero nella fossa glenoidea,

garantendo la stabilità dinamica della spalla. Inoltre la contrazione della cuffia dei rotatori tensiona la capsula glenomerale aumentando la stabilità.

Si crede comunemente che gli esercizi in “weightbearing” per gli arti superiori facilitino la co-attivazione delle coppie di forze sia a livello glenomerale che scapolotoracico. Henry et al. In uno studio del 1996 (Myers & Lephart 2000) hanno condotto un’analisi elettromiografica del livello di co-attivazione dei muscoli delle coppie di forze della spalla durante vari esercizi di riabilitazione dinamica tra cui: push-up, stabilizzazione ritmica ed esercizi dinamici in posizione di push-up sulle ginocchia con le mani su una “slide board” (movimenti di flessione-estensione, adduzione-abduzione, e movimenti circolari)(fig. 8,9). Durante l’esecuzione del push-up e dei tre esercizi su slide board è stata registrata una co-attivazione delle coppie di forze, dimostrando l’utilità a questo fine degli esercizi in weightbearing.

Semplici esercizi in weightbearing possono essere somministrati precocemente dato il basso rischio di aggravamento della lesione. Inizialmente il paziente in appoggio su tutte e due le mani può eseguire piccoli spostamenti del peso, prima a basso carico in piedi con le mani sul lettino, poi con carico maggiore in posizione di push-up. La progressione può prevedere il mantenimento della posizione di push-up in appoggio su un solo braccio prima su una superficie stabile e poi su una instabile. Altri esercizi efficaci possono essere eseguiti con l’ausilio di una slide board, prima in posizione di push-up sulle ginocchia, poi nella posizione di push-up standard. Il paziente può effettuare, facendo scivolare le mani, movimenti circolari, movimenti a 8, flesso estensioni delle braccia (fig 8). Mano a mano che la stabilità dinamica migliora possono essere eseguiti movimenti orizzontali con il braccio in posizioni di maggiore vulnerabilità (fig 9).

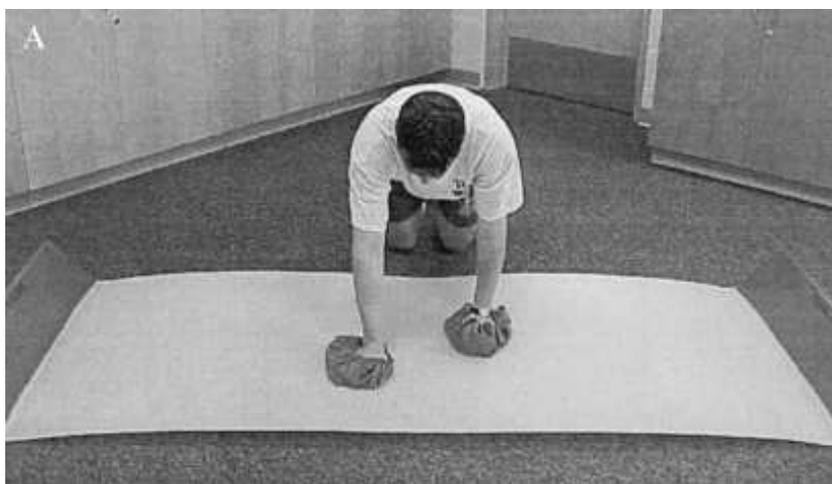


Figura 8



Figura 9

Ripristino della contrazione muscolare reattiva e preparatoria. In questa fase gli obiettivi sono il ripristino della pre-attivazione muscolare che fornisce la stabilità articolare attraverso un aumento della stiffness, e la stimolazione della contrazione riflessa che viene elicitata da una forza che agisce sull'articolazione della spalla.

Mediante l'uso di diversi tipi di perturbazione articolare, la spalla viene stressata con l'applicazione di forze inaspettate, simili a quelle a cui è sottoposta la spalla durante l'attività funzionale. Prima di somministrare al paziente questo tipo di esercizi è necessario che siano stati recuperati l'intero ROM articolare e la forza muscolare oltreché la stabilità dinamica della spalla.

Inizialmente vanno proposti esercizi di stabilizzazione ritmica.



Figura 10

Sebbene gli esercizi di stabilizzazione ritmica non producano co-attivazione come si credeva comunemente, la loro utilità non deve essere sottostimata. Il paziente è in posizione supina, con il gomito esteso e il braccio abdotto nel piano scapolare. Il paziente è istruito a mantenere questa posizione mentre il terapeuta applica ripetute perturbazioni articolari in direzioni casuali. Possono venir effettuati vari tipi di progressioni, con o senza la facilitazione visiva ad esempio, oppure passando da posizioni di abduzione nel piano scapolare del braccio a posizioni più vulnerabili e funzionali. Un'altra progressione può prevedere che il paziente sostenga una palla medica mentre il terapeuta applica le perturbazioni (fig 10).

Gli esercizi di stabilizzazione ritmica dovrebbero essere molto utili poiché stimolano sia la pre-attivazione muscolare, dato che il paziente si prepara alla perturbazione articolare, sia la contrazione muscolare riflessa, nel momento in cui il paziente risponde ad una forza inaspettata.

Oltre agli esercizi di stabilizzazione ritmica anche gli esercizi in weightbearing già descritti potrebbero avere un ruolo importante nel ripristino della contrazione muscolare reattiva e preparatoria. Oltre alla loro funzione di stimolazione della co-attivazione delle coppie di forze, gli esercizi in weightbearing eseguiti su superfici instabili potrebbero elicitarne sia la pre-attivazione muscolare per permettere il mantenimento della posizione, sia la contrazione muscolare riflessa nel momento in cui l'atleta risponde alle repentine variazioni di posizione della superficie d'appoggio. Questi esercizi possono venir eseguiti su ogni tipo di superficie instabile, tavolette propriocettive (figura 11), dispositivi multi-assiali, fit ball (figura 12).



Figura 11

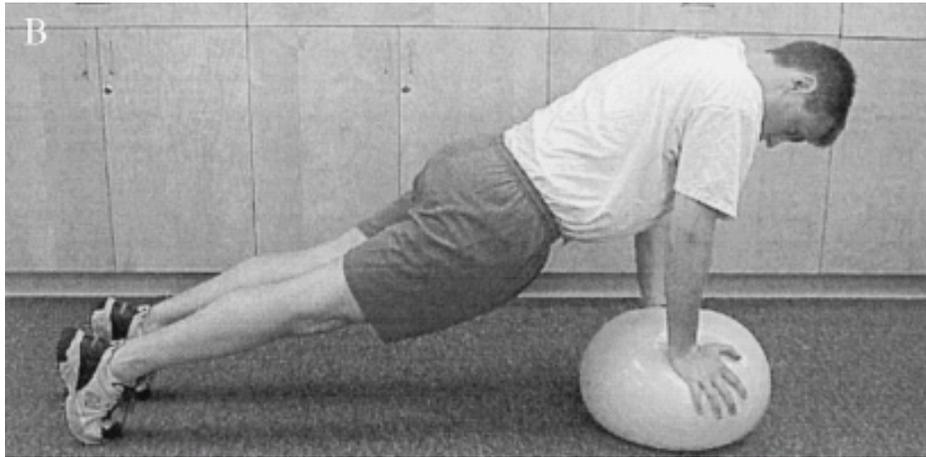


Figura 12

La progressione può prevedere l'eliminazione della facilitazione visiva oppure l'applicazione di ulteriori perturbazioni mediante l'azione manuale del terapeuta.

Riproduzione delle attività funzionali. In questa fase finale della riabilitazione funzionale proposta da Henry e Lephart vengono introdotti esercizi che riproducono il gesto sportivo/ l'occupazione del paziente. E' importante che questi esercizi proponano posizioni funzionali specifiche in relazione all'attività praticata dal paziente. Ad esempio la posizione funzionale per un giocatore di tennis o di baseball è la posizione di vulnerabilità in abduzione e rotazione esterna, mentre la posizione funzionale per un giocatore di football è la posizione in cui il braccio è davanti al torace subito sotto il livello della spalla. Ricreare i compiti che verranno richiesti alla spalla durante l'attività sportiva/l'occupazione nel "setting" riabilitativo inoltre, permette di usufruire di un ambiente controllato in cui praticare e valutare le tecniche, i pattern di movimento, al fine di rendere più graduale la transizione dalla riabilitazione all'attività sportiva/occupazione del paziente.

Numerosi esercizi riabilitativi possono essere modificati per essere resi più funzionali in relazione alle specifiche attività.

In particolare sembrerebbe molto utile l'esercizio pliometrico. L'attività pliometrica è composta da tre fasi, il carico eccentrico, la fase di ammortizzazione e la contrazione concentrica. Durante il carico eccentrico e la fase di ammortizzazione, viene accumulata energia negli elementi elastici del muscolo, energia che rende più forte la contrazione concentrica che segue. Inoltre lo stretch eccentrico a cui è sottoposto il muscolo stimola i fusi neuromuscolari che a loro volta elicitano il riflesso miotattico da stiramento nelle fibre extra-fusali. La contrazione concentrica risultante è maggiore grazie a questi meccanismi

del 10-15%. L'esercizio pliometrico riproduce in maniera molto funzionale il tipo di contrazioni a cui va incontro la muscolatura della spalla durante vari gesti sportivi, in cui vi è un rapido stretch eccentrico seguito da una forte contrazione concentrica. Oltre a riprodurre il gesto funzionale, il training pliometrico stimola la contrazione muscolare preparatoria, nel momento in cui il paziente si prepara al carico eccentrico, e la contrazione riflessa grazie alla stimolazione dei fusi durante lo stretch eccentrico. In risposta all'esercizio prolungato sembrano poi manifestarsi adattamenti neurali. Attraverso la desensibilizzazione degli OTG e l'assenza della loro funzione inibitoria, sembra ci sia un aumento della sensibilità dei FN con conseguente aumento della percezione propriocettiva (Swanik et al. 2002).

Swanik et al. (2002) hanno misurato la propiocezione e alcune caratteristiche di performance muscolare in 24 nuotatrici di prima divisione senza problemi di spalla, prima e dopo 6 settimane di training pliometrico dei muscoli intrarotatori della spalla. Gli autori hanno riscontrato al termine del training un aumento della batiestesia, misurata con il test di riproduzione passiva della posizione articolare, della chinestesia, misurata con il test TTDPM, e un incremento della coordinazione e dell'efficienza neuromuscolare, dimostrato dalla capacità di mantenere più a lungo i valori di forza e dalla diminuzione del tempo di ammortizzazione.

Durante le prime due settimane i soggetti utilizzavano bande elastiche. Venivano istruiti ad eseguire una rotazione interna concentrica fino a fine ROM con il braccio abdotta a 90° e il gomito flesso a 90°, mantenere la posizione per 2" e poi lasciare che l'elastico portasse il braccio in rotazione esterna. Non appena raggiungevano il limite della rotazione esterna dovevano il più velocemente possibile eseguire una rotazione interna concentrica. Dopo due settimane di allenamento con gli elastici i soggetti passavano ad utilizzare i trampolini elastici (fig 13). Veniva usata la stessa posizione dell'arto superiore, ma i soggetti eseguivano l'esercizio in ginocchio per eliminare movimenti compensatori degli arti inferiori. I soggetti venivano istruiti a lanciare e a riprendere in successione una palla medica al ritmo di un ciclo ogni 2". Gli esercizi venivano eseguiti con entrambe le spalle. Gli esercizi pliometrici proposti da Swanik et al. possono essere adattati in modo da riprodurre in maniera funzionale e specifica il gesto sportivo/l'attività del paziente.

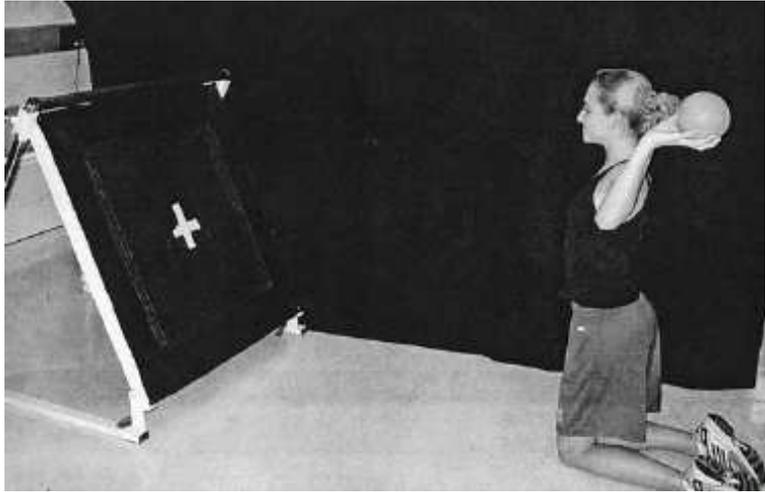


Figura 13

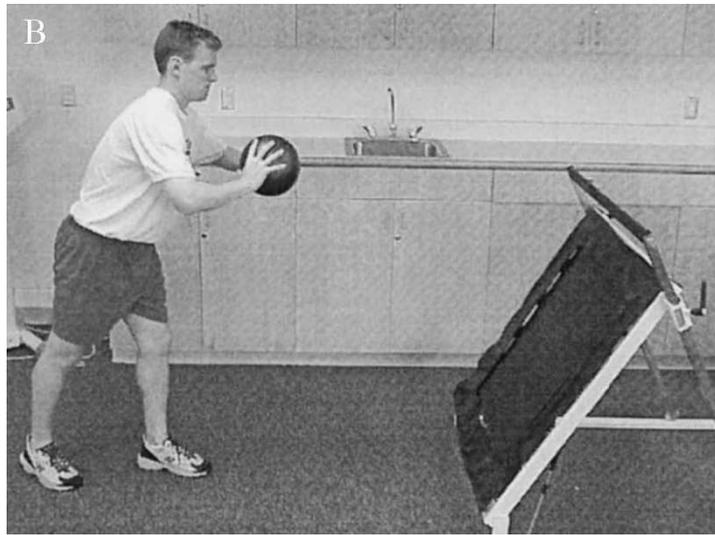


Figura 13



Figura 14

Ad esempio il training pliometrico in posizione di abduzione e rotazione esterna dovrebbe essere più efficace per gli atleti overhead (fig 13), quello in posizione davanti al torace potrebbe essere più funzionale per un giocatore di football (fig 14), mentre uno che incorpori veloci movimenti del tronco sembrerebbe essere più utile ad un giocatore di golf (fig 15).

A causa delle notevoli forze a cui è sottoposta la spalla durante l'esercizio pliometrico, esso deve essere inserito nel trattamento riabilitativo solo dopo aver recuperato il ROM completo senza dolore, la forza e la stabilità dinamica.

Un'altra tipologia di esercizi che riproducono l'attività funzionale è quella che utilizza le Facilitazioni Neuromuscolari Propriocettive (PNF). Gli esercizi PNF promuovono il rinforzo muscolare mediante l'utilizzo di pattern di movimento tridimensionali, mostrando dunque un carattere di maggiore funzionalità e richiedendo una maggior coordinazione neuromuscolare rispetto agli esercizi tradizionali. Il pattern di movimento che si esplica nella diagonale D2 ad esempio, è usato spesso nella riabilitazione degli atleti overhead per la similitudine tra il suo piano di lavoro e il piano di lavoro del lancio e del servizio.

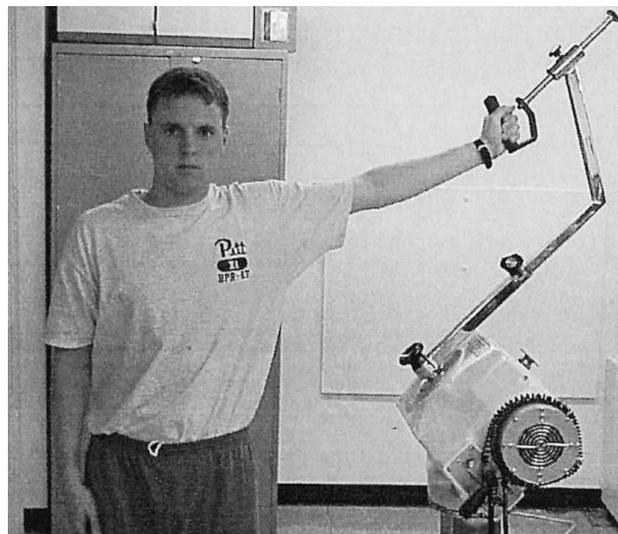


Figura 15

Gli esercizi PNF possono essere eseguiti contro la resistenza manuale del terapeuta oppure tramite l'utilizzo di elastici o macchinari isocinetici (fig 16).

Lo studio di Padua et al. del 1999 sembra dimostrare l'efficacia di un programma di training PNF di 5 settimane sulla funzionalità della spalla misurata con il Functional Throwing Performance Index (Myers et al 2006).

9. Evidenze di efficacia della riabilitazione della propriocezione e del controllo neuromuscolare

Le evidenze scientifiche di efficacia di un trattamento riabilitativo rivolto al ripristino della propriocezione e del controllo neuromuscolare sono pochissime, fatto in gran parte attribuibile alla mancanza quasi totale di studi scientifici al riguardo. La “riabilitazione funzionale”, proposta dal gruppo che fa capo al Laboratorio di Ricerca Neuromuscolare di Pittsburgh (autore della gran parte dei lavori sulla propriocezione e il controllo neuromuscolare), pur nascendo su solide basi di ricerca neurofisiologica non è stata ancora sottoposta a validazione scientifica.

Un RCT del 2005 di Ginn e Cohen ha confrontato l'efficacia dell'esercizio terapeutico rivolto al ripristino del controllo neuromuscolare con altri interventi conservativi nel trattamento della spalla dolorosa cronica accompagnata o meno da rigidità. I soggetti sono stati collocati casualmente in tre gruppi. Un gruppo riceveva esercizio terapeutico rivolto al ripristino della stabilità dinamica e della coordinazione muscolare della spalla, uno infiltrazioni sottoacromiali di corticosteroidi, uno una combinazione di terapia fisica e esercizi per l'incremento del ROM. Sono state misurate prima e dopo 5 settimane di trattamento le seguenti misure di outcome: intensità del dolore, disabilità, ROM attivo, forza isometrica, self-assessment della disabilità. Le conclusioni di questo lavoro sono state che l'esercizio terapeutico rivolto al ripristino del controllo neuromuscolare, le infiltrazioni di corticosteroidi e la combinazione di terapia fisica ed esercizi per l'incremento del ROM sono egualmente efficaci nel trattamento a breve termine della spalla dolorosa. L'esercizio terapeutico e le infiltrazioni di corticosteroidi sono però di meno costosa somministrazione.

Un altro RCT (Edmonds et al. 2003), ha confrontato l'efficacia della stabilizzazione artroscopica e riabilitazione precoce rispetto all'immobilizzazione e riabilitazione tradizionale sulla propriocezione, non riscontrando significative differenze tra i due trattamenti.

Una piccola evidenza di efficacia sull'utilità sia degli esercizi in catena cinetica chiusa che degli esercizi in catena cinetica aperta per il ripristino della propriocezione, viene dall'RCT di Rogol et al. (1998). Entrambe le tipologie di esercizio si dimostrano ugualmente efficaci per migliorare il senso di posizione articolare.

Lo studio di Swanik (2002) suggerisce la possibile efficacia, da confermare mediante studi più attendibili, dell'esercizio pliometrico per il miglioramento della propriocezione e dell'efficienza neuromuscolare.

10. Conclusioni

La stabilità funzionale della spalla è il risultato dell'interrelazione precisa e coordinata tra le strutture passive e attive di stabilizzazione mediata dal sistema sensorimotorio. Il sistema sensorimotorio processa e integra le afferenze propriocettive provenienti dalle strutture capsulo-legamentose e muscolotendinee per dare, sulla base di queste, risposte efferenti neuromuscolari fondamentali ai fini di un movimento coordinato e della stabilità dinamica della spalla. Si evince come una corretta afferenza propriocettiva sia fondamentale dunque ai fini di un'adeguata risposta efferente, rappresentata dal controllo neuromuscolare.

Vari studi evidenziano un'alterazione degli input propriocettivi in soggetti con instabilità di spalla, sia anteriore traumatica (Lephart 1994, Smith & Brunolli 1989, Zuckerman et al. 2003), che multidirezionale (Blasier 1994). Anche il controllo neuromuscolare sembra venir alterato in soggetti con instabilità anteriore dimostrato da un'alterazione dell'attivazione muscolare (Glousman et al. 1988, Myers et al. 2004, Mc Mahon et al. 1996). La fatica sembrerebbe alterare maggiormente la propriocezione, con effetti dubbi sul controllo neuromuscolare (Myers et al. 1999).

Appare dunque evidente la necessità di integrare il trattamento riabilitativo standard per l'instabilità di spalla con attività rivolte al ripristino della propriocezione e dei meccanismi neuromuscolari vitali per la stabilità funzionale della stessa.

Le indicazioni di trattamento proposte in questo lavoro sono indirizzate alla stimolazione dei meccanismi neuromuscolari di stabilizzazione e passano attraverso il recupero della coscienza della propriocezione, la facilitazione della stabilità dinamica, il ripristino dell'attività muscolare riflessa e preparatoria, l'implementazione di attività funzionali. Malgrado poggi su una base di ricerca neurofisiologica, le evidenze di efficacia di queste indicazioni sono scarse. Molto lavoro resta da fare ancora in questo senso.

11. Bibliografia

- Barden JM, Balyk R, Raso VJ, Moreau M, Bagnall K. Dynamic upper limb proprioception in multidirectional shoulder instability. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2004(420):181–9.
- Davies GJ, Dickoff-Hoffman S. Neuromuscular testing and rehabilitation of the shoulder complex. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1993;18:449-458.
- Diederichsen L, Krogsgaard M, Voigt M, Dyhre-Poulsen P. Shoulder reflexes. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 12 2002 183–191
- Edmonds G, Kirkley A, Birmingham TB
The effect of early arthroscopic stabilization compared to non surgical treatment on proprioception after primary traumatic anterior dislocation of the shoulder. *Knee surg sports traumatol arthroscop.* 2003
- Etty Griffin LY. Neuromuscular training and injury prevention in sports. *Clin Orthop Relat Res.* 2003 Apr;(409):53-60.
- Ginn KA, Cohen ML. Exercise therapy for shoulder pain aimed at restoring neuromuscular control: a randomized comparative clinical trial. *Journal of Rehabilitation Medicine* 2005;37(2): 115–22.
- Glousman R, Jobe F, Tibone J, Moynes D, Antonelli D, Perry J. Dynamic electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability. *Journal of Bone and Joint Surgery of America* 1988;70(2):220–6.
- Hess S (2000): Functional stability of the glenohumeral joint. *Manual Therapy* 5: 63-71.
- Jerosch J, Prymka M Proprioception and joint stability. *Knee surg sports traumatol arthroscop* 1996
- Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH. The role of proprioception in the management of and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med.* 1997;25:130 –137.
- Lephart SM, Fu FH. Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability. *Human Kinetics*, 2000.
- Lephart SM, Henry TJ. Functional rehabilitation for the upper and lower extremity. *Ortho Clin N Am* 1995;26(3):579–92.
- McMahon PJ, Jobe FW, Pink MM, Brault JR, Perry J. Comparative electromyographic analysis of shoulder muscles during planar

motions: anterior glenohumeral instability versus normal. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 1996;5(2 Pt 1):118–23.

Myers JB, Ju Y, Hwang JH, McMahon PJ, Rodosky MW and Lephart SM (2004): Reflexive muscle activation alterations in shoulders with anterior glenohumeral instability. *American Journal of Sports Medicine* 32: 1013-1021.

Myers JB, Guskiewicz KM, Schneider RA, Prentice WE. Proprioception and neuromuscular control of the shoulder after muscle fatigue. *J Athl Train.* 1999;34:362–367.

Myers JB, Lephart SM. The Role of the Sensorimotor System in the Athletic Shoulder. *J Athl Train.* 2000 Jul;35(3):351-363

Myers JB, Lephart SM. Sensorimotor deficits contributing to glenohumeral instability. *Clinical Orthopaedics* 2002(400):98–104.

Myers JB, Wassinger CA, Lephart SM. Sensorimotor contribution to shoulder stability: Effect of injury and rehabilitation. *Manual Therapy* 11 (2006) 197–201

Nyland JA, Caborn NM, Johnson DL. The human glenohumeral joint, A proprioceptive and stability alliance *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthrosc* 1998 6 :50–61

Pezzullo DJ, Karas S, Irrgang JJ. Functional plyometric exercises for the throwing athlete. *J Athl Train.* 1995;30:22–26.

Reddy AS, Mohr KJ, Pink MM, Jobe FW. Electromyographic analysis of the deltoid and rotator cuff muscles in persons with subacromial impingement. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 2000;9(6):519–23.

Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part 2: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of Athletic Training* 2002b;37(1):80–4.

Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part 1: the physiological basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training* 2002a;37(1):71–7

Rogol IM, Ernst GP, Perrin DH. Open and closed kinetic chain exercises improve shoulder joint reposition sense equally in healthy subjects. *Journal of Athletic Training* 1998;33(4):315–8.

Safran MR, Borsa PA, Lephart SM, Fu FH, Warner JJ. Shoulder proprioception in baseball pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 2001;10(5):438–44.

Smith RL, Brunolli J. Shoulder kinesthesia after anterior glenohumeral joint dislocation. *Phys Ther.* 1989;69:106-112.

Tripp BL, Uhl TL, Mattacola CG, Srinivasan C, Shapiro R
Functionl multijoint position reproduction acuity in overhead-throwing
athletes. *Journal of Athletic Training* 2006

Swanik KA, Lephart SM, Swanik CB, Lephart SP, Stone DA, Fu FH.
The effects of shoulder plyometric training on proprioception and
selected muscle performance characteristics. *Journal of Shoulder
and Elbow Surgery* 2002;11(6):579–86.

Zuckerman JD, Gallagher MA, Cuomo F, Rokito A. The effect of
instability and subsequent anterior shoulder repair on proprioceptive
ability. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 2003;12(2):
105–9.