

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA



**Master in Riabilitazione dei Disordini
Muscoloscheletrici**

In collaborazione con



**Libera Università di
Brussel**

**L'ESERCIZIO TERAPEUTICO NELLE
DISFUNZIONI DI SPALLA:
UNA SCELTA "EVIDENCE BASED".**

Relatore:

Dott. Ft Arcieri Diego

Tesi di:

Coppari Andrea

Anno Accademico 2011/2012

INDICE

1. Abstract	1
2. Introduzione.....	3
3. Materiali e Metodi.....	5
4. Risultati.....	12
4.1. Esercizi per la cuffia dei rotatori.....	13
4.2. Esercizi per la muscolatura perisca polare.....	16
4.3. Esercizi per la muscolatura assioappendicolare.....	19
5. Discussione.....	22
6. Conclusioni.....	24
7. Key points.....	25
8. Bibliografia.....	26

1. Abstract

Introduzione: un programma ben costruito di riabilitazione per il complesso della spalla è essenziale per stabilizzare le articolazioni scapolo-toracica e scapolo-omerale, favorendo il normale ritmo scapolo-omerale. La revisione della letteratura mostra una varietà di esercizi che mirano a rafforzare la muscolatura scapolo-toracica e scapolo-omerale .

Obiettivo: compilare una tabella riassuntiva di esercizi "evidence-based", con lo scopo di aiutare il terapeuta a selezionare esercizi per un programma riabilitativo per i muscoli del cingolo scapolare, grazie alla revisione di studi elettromiografici (EMG) della spalla.

Materiali e metodi: è stata effettuata una ricerca sul database Pubmed. Le parole utilizzate sono state "Shoulder Joint" AND ("Muscles" OR ("Rotator Cuff" OR "Pectoralis Muscles" OR "Deltoid Muscle")) AND "Electromyography" AND ("Exercise" OR "Exercise Therapy" OR "Exercise Movement Techniques" OR "Resistance Training") con e senza i termini Mesh. I limiti della ricerca sono: pubblicazioni successive al 1998 e in lingua inglese. La selezione degli articoli è stata eseguita sulla base del titolo, dell'abstract e infine della lettura completa dell'articolo. Sono stati inclusi 15 studi sperimentali effettuati su soggetti sani e che prevedevano l'utilizzo dell'elettromiografia per lo studio della muscolatura del cingolo scapolare.

Risultati: i 15 articoli inclusi forniscono un elenco di esercizi basato su prove il cui scopo è reclutare efficientemente, massimamente ed in modo specifico la muscolatura della cuffia dei rotatori e quella periscapolare. Grazie a questi 15 articoli, si è potuto stilare una tabella di esercizi utile a promuovere la stabilità gleno-omerale e favorire un corretto ritmo scapolo-omerale. Questi esercizi, che hanno suscitato il più alto reclutamento della massima contrazione volontaria e sono stati designati come cruciali per la stabilità ed il ritmo scapolo-omerale, sono stati selezionati per la tabella degli esercizi. Per la cuffia dei rotatori gli esercizi selezionati sono: full can per il *supraspinatus*, extrarotazione in decubito laterale per *teres minor* e *infraspinatus*, intrarotazione in zero-position e diagonal exercise per il *sottoscapolare*. Il *serratus anterior* è molto attivo negli esercizi dynamic hug e push-up plus, mentre *middle* e *lower trapezius* sono favoriti nella abduzione orizzontale da prono a 90° e 125° di abduzione gleno-omerale rispettivamente. L'empty

can favorisce il *middle deltoideus*, mentre l'abduzione orizzontale a 100° è ottima per il *posterior deltoideus*. L'adduzione isometrica a 30° favorisce il reclutamento di *latissimus dorsi*, *teres major* e *rhomboideus major*. Infine la flat bench press e la 45° inclined bench press sono i migliori esercizi per la parte sterno costale e quella clavicolare del *pectoralis major* rispettivamente.

Conclusioni: i risultati di quest'elaborato sono uno strumento evidence-based utile a stabilire un pratico programma di esercizi per la spalla.

2. Introduzione

La spalla ha la più ampia mobilità tra tutte le articolazioni del corpo umano, la sua stabilità funzionale è possibile attraverso le funzioni integrate della capsula articolare, dei legamenti e del labbro glenoideo, come la stabilizzazione dinamica della muscolatura circostante, in particolare la cuffia dei rotatori.¹ La corretta strategia di coordinazione dei muscoli della spalla è pertanto essenziale per i vari movimenti del braccio. Per esempio, l'azione sincrona del deltoide e della cuffia dei rotatori, riferita come coppia di forza, gioca un ruolo vitale nella normale abduzione sul piano scapolare.²

La cuffia dei rotatori mantiene la stabilità comprimendo la testa dell'omero dentro la concavità della fossa glenoidea durante i movimenti dell'arto superiore. Così la cuffia dei rotatori e i muscoli periscapolari giocano un ruolo cruciale nella normale artrocinematica e nella funzione asintomatica della spalla.¹

Debolezza della cuffia dei rotatori, squilibri della muscolatura della spalla, o un'alterata meccanica nelle attività overhead possono causare un fallimento della coppia di forza e possono portare a differenti tipi di patologia della spalla, come "impingement subacromiale" o lesioni della cuffia dei rotatori.²

Spesso si pensa che il dolore alla spalla e l'impingement siano il risultato di una lesione della cuffia dei rotatori o una sua debolezza, senza considerare la normale posizione e cinematica scapolare. Revisioni della corrente letteratura suggeriscono che la discinesia scapolare è una componente che contribuisce alle patologie glenomerali.³ La discinesia scapolare è un'alterazione clinicamente osservabile della posizione scapolare a riposo e del movimento della scapola nei movimenti accoppiati di scapola e omero; per mantenere il normale ritmo scapolo-omerale è richiesta la corretta attivazione dei muscoli che ruotano la scapola verso l'alto (upward rotators). Questi muscoli sono il trapezio superiore (UT), il trapezio inferiore (LT) e il serrato anteriore (SA).³ Quest'ultimo è stato descritto come il primo muscolo motore della scapola⁴ e il muscolo principale, assieme a LT, a facilitare lo "Scapular Posterior Tilt", che consiste in un movimento del processo coracoideo in una direzione craniale e posteriore, mentre l'angolo inferiore della scapola si muove anteriormente e inferiormente. Il rafforzamento selettivo dei muscoli che favoriscono lo SPT è importante per la riabilitazione degli impairment scapolari.⁵

Molti studi hanno documentato l'attività elettromiografia (EMG) della muscolatura gleno-omerale durante specifici esercizi per la spalla.¹

Di conseguenza, la partecipazione attiva e bilanciata della cuffia dei rotatori e la muscolatura perisca polare sono essenziali per produrre corretti movimenti e stabilità della spalla. Un programma di esercizi guidati dal terapista costruiti sulla conoscenza anatomica, biomeccanica e sugli studi EMG sono essenziali per ricreare una bilanciata muscolatura della spalla e per costruire un programma terapeutico efficace⁶.

Un programma riabilitativo ben costruito del complesso spalla è fondamentale per il ritorno del paziente alle sue attività precedenti la disfunzione. Infatti, in ogni piano di trattamento, il terapista inserisce, nelle fasi appropriate, una serie di esercizi volti a ripristinare la funzionalità della spalla; molto spesso però non si è a conoscenza dell'effettiva attivazione muscolare conseguente a questo o a quell'esercizio. L'obiettivo dell'elaborato è pertanto quello di eseguire una revisione della letteratura scientifica allo scopo di identificare gli articoli che hanno valutato diversi esercizi terapeutici comunemente utilizzati descrivendo nel dettaglio quali muscoli della spalla sono di volta in volta maggiormente attivati, per poter essere di aiuto al terapista nello scegliere più accuratamente gli esercizi da proporre in base alla recente letteratura. Attraverso questo lavoro di revisione ed analisi sarà possibile creare una tabella riassuntiva di alto valore clinico che indichi il miglior esercizio in funzione del muscolo da voler attivare, tenendo conto però che la condizione principe per la scelta dell'esercizio terapeutico è un'approfondita conoscenza del quadro patologico in esame.

Nel futuro saranno necessari più studi riguardanti gli esercizi del cingolo scapolare che coinvolgano gruppi di soggetti sintomatici. In questa ricerca sono stati trovati molti studi effettuati su soggetti asintomatici, quindi questi esercizi possono essere indirizzati ad ambedue i gruppi di soggetti asintomatici e non. Per concludere sono necessari più studi randomizzati controllati in questo campo per poter offrire più riproducibili e valide informazioni.

3. Materiali e metodi

È stata effettuata una ricerca sul database "Pubmed". I limiti della ricerca riguardavano gli articoli sperimentali pubblicati in lingua inglese. La stringa utilizzata è stata: *"Shoulder Joint" AND ("Muscles" OR ("Rotator Cuff" OR "Pectoralis Muscles" OR "Deltoid Muscle")) AND "Electromyography" AND ("Exercise" OR "Exercise Therapy" OR "Exercise Movement Techniques" OR "Resistance Training")* prima utilizzando i termini Mesh e poi escludendoli.

I criteri di inclusione erano studi sperimentali su laboratori controllati (repeated measure design), effettuati su soggetti sani adulti, che utilizzavano la metodica dell'elettromiografia (utilizzo di aghi o elettrodi), pubblicati dopo il 1998. I criteri di esclusione sono i seguenti: studi su soggetti affetti da patologie della spalla, revisioni narrative o sistematiche, studi che sceglievano non un campione generico della popolazione, ma sottogruppi più specifici.

Per essere inclusi nell'elaborato gli articoli dovevano avere tutti i criteri di inclusione.

Dalla combinazione delle due stringhe sono stati reperiti 50 articoli.

Una prima selezione è stata effettuata sulla base del titolo e dopo la lettura dell'abstract; sono stati così esclusi 25 articoli.

Sono stati esclusi 3 articoli in quanto non reperibili in full text.

Un'ultima selezione è stata fatta dopo la lettura completa degli articoli, in quanto non pertinenti allo scopo dell'elaborato; sono stati così esclusi 8 articoli. Gli articoli esclusi riguardavano situazioni di grado estremo di ROM, la fatica muscolare, differenze di attivazione muscolare tra due gruppi: soggetti patologici e asintomatici.

Ai 14 articoli rimasti è stato aggiunto un articolo pervenuto tramite collaborazione con il relatore; sono stati quindi selezionati 15 articoli che soddisfacevano tutti i criteri di inclusione.

Gli esercizi venivano assegnati a due differenti gruppi muscolari: perispa polari o cuffia dei rotatori; ciò dipendeva dai principali muscoli attivati con quell'esercizio.

Nell'introduzione si fa riferimento ad un articolo (riportato in bibliografia) che non rientra nella revisione ma che è stato impiegato come base per una raccolta dati più ampia ed esaustiva circa gli esercizi selezionati e il background.

I 15 articoli selezionati sono stati riportati in tabella 1.

I passaggi di selezione sono stati riportati in un diagramma di flusso.

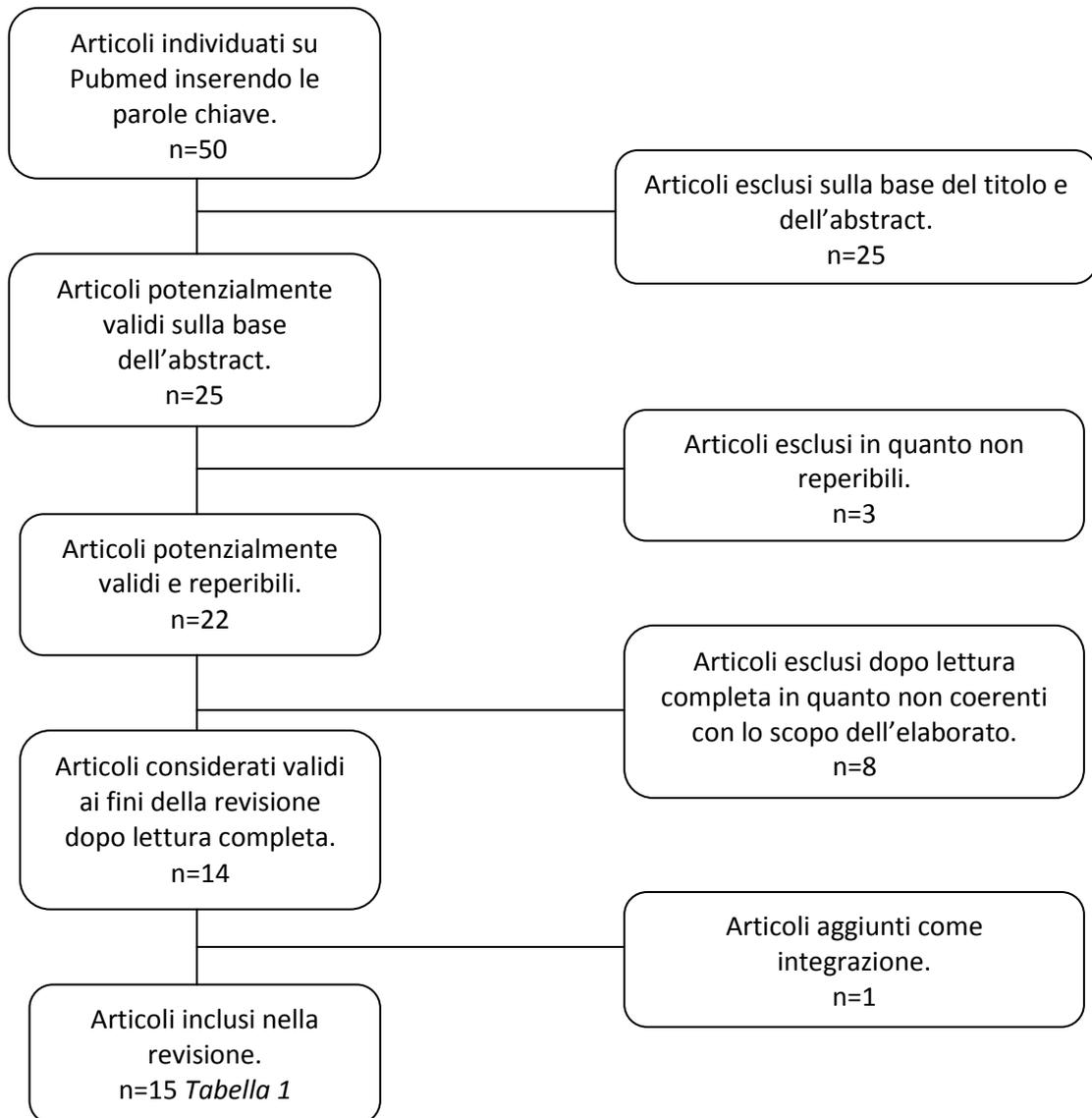


Diagramma di flusso per la scelta degli articoli utilizzati per l'elaborato.

AUTORE, TITOLO, ANNO	Obiettivo	Numero Campione	Range età	Metodologia EMG	N° di prove MVIC (per muscolo)	Risultati
Reinold MM, Macrina LC, Wilk KE, Fleisig GS, Dun S, Barrentine SW, Ellerbusch MT, Andrews JR. Electromyographic analysis of the supraspinatus and deltoid muscles during 3 common rehabilitation exercises. J Athl Train. 2007	Quantificare EMG di sovraspinato, deltoide medio e posteriore nella posizione full can, empty can e prone full can .	22	19-34	Aghi	5	Full can può essere una posizione ottimale per reclutare il sovraspinato e minimizzare il reclutamento del deltoide medio.
Decker MJ, Tokish JM, Ellis HB, Torry MR, Hawkins RJ. Subscapularis muscle activity during selected rehabilitation exercises. Am J Sports Med. 2003	Trovare l'esercizio che attiva maggiormente le due porzioni superiore e inferiore del sottoscapolare.	15	23-32	Aghi e elettrodi di superficie	5	Push-up plus e diagonal exercise attivano maggiormente le fibre muscolari delle due porzioni del sottoscapolare.
Decker MJ, Hintermeister RA, Faber KJ, Hawkins RJ. Serratus anterior muscle activity during selected rehabilitation exercises. Am J Sports Med. 1999	Trovare l'esercizio che attiva maggiormente il serrato anteriore.	20	25-35	Elettrodi di superficie	5	Push-up plus, dynamic hug attivano maggiormente il serrato anteriore
Bitter NL, Clisby EF, Jones MA, Magarey ME, Jaberzadeh S, Sandow MJ. Relative	Ricerca la condizione dell'extrarotazione resistita isometrica che ottimizza il	18	34-49	Elettrodi di superficie	1	L'infraspinato si attiva maggiormente con ER isometrica minore del

<p>contributions of infraspinatus and deltoid during external rotation in healthy shoulders. J Shoulder Elbow Surg. 2007</p>	<p>contributo dell'infraspinato e se l'adduzione minimizza il contributo del deltoide</p>					<p>40% del MVIC.</p>
<p>Ludewig PM, Hoff MS, Osowski EE, Meschke SA, Rundquist PJ. Relative balance of serratus anterior and upper trapezius muscle activity during push-up exercises. Am J Sports Med. 2004</p>	<p>Comparare gli esercizi push-up in modo da trovare quale abbia maggior attivazione del serrato anteriore con minor attivazione del trapezio superiore</p>	30	18-50	Elettrodi di superficie	5	<p>Push-up plus è un ottimale esercizio nei casi di iperattivazione del UT o nei casi di squilibrio nel SA.</p>
<p>Kinney E, Wusthoff J, Zych A, Hatzel B, Vaughn D, Strickler T, Glass S. Activation of the trapezius muscle during varied forms of Kendall exercises. Phys Ther Sport. 2007</p>	<p>Studiare il pattern di attivazione muscolare del medio e inferiore trapezio durante 4 esercizi terapeutici usando posizioni descritte da Kendall.</p>	32	18-35	Elettrodi di superficie	1	<p>MT e LT dimostrano miglior attivazione durante gli esercizi con abduzione gleno-omerale a 90° e 125°.</p>
<p>Reinold MM, Wilk KE, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Chmielewski T, Cody RC, Jameson GG, Andrews JR. Electromyographic analysis of the rotator cuff and deltoid musculature during common</p>	<p>Misurare l'attività EMG dell'infraspinato, piccolo rotondo, sopraspinato e deltoide durante 7 esercizi terapeutici comunemente prescritti per rafforzare i rotatori esterni.</p>	10	22-38	Aghi	10	<p>ER in decubito laterale ha la miglior attivazione per infraspinato e piccolo rotondo. L'abduzione orizzontale a 100° di abduzione gleno-</p>

<p>shoulder external rotation exercises. J Orthop Sports Phys Ther. 2004</p>						omeroale da prono è più efficace per sopraspinato e deltoide.
<p>Reed D, Halaki M, Ginn K. The rotator cuff muscles are activated at low levels during shoulder adduction: an experimental study. J Physiother. 2010</p>	<p>Comparare elettromiograficamente l'attività nella cuffia dei rotatori e nella muscolatura periscapolare durante l'adduzione.</p>	15	18-49	Aghi e elettrodi di superficie	3	L'adduzione isometrica contro resistenza a 30° di abduzione gleno-omeroale ha la miglior attivazione di gran dorsale, grande romboide, grande rotondo.
<p>Trebs AA, Brandenburg JP, Pitney WA. An electromyography analysis of 3 muscles surrounding the shoulder joint during the performance of a chest press exercise at several angles J Strength Cond Res 2010</p>	<p>Verificare se c'è differenza nell'attivazione della porzione clavicolare o della porzione sternale del gran pettorale comparando la panca piana con la panca inclinata.</p>	15	21-28	Aghi	1	Panca piana migliore per la porzione sternale, la panca inclinata di 44° è migliore per la porzione clavicolare del gran pettorale.
<p>Hintermeister RA, Lange GW, Schultheis JM, Bey MJ, Hawkins RJ Electromyographic activity and applied load during shoulder rehabilitation exercises using elastic resistance. Am J Sports Med. 1998</p>	<p>Quantificare l'attività EMG di otto muscoli del cingolo scapolare durante sette esercizi con resistenza elastica</p>	19	24-36	Aghi ed elettrodi di superficie	5	Shoulder Shrug, specie nella parte di elevazione e retrazione è un ottimo esercizio per il reclutamento del trapezio.

<p>Yasojima T, Kizuka T, Noguchi H, Shiraki H, Mukai N, Miyanaga Y. Differences in EMG activity in scapular plane abduction under variable arm positions and loading conditions. Med Sci Sports Exerc 2007</p>	<p>Verificare l'attività EMG della muscolatura della spalla durante gli esercizi full can ed empty can.</p>	8	22-24	Aghi ed elettrodi di superficie	3	Full can è il miglior attivatore del sosraspinato (meggiamente tra i 10°-60° di abduzione gleno-omerale)
<p>De Mey K, Cagnie B, Danneels LA, Cools AM, Van de Velde A. Trapezius muscle timing during selected shoulder rehabilitation exercises. J Orthop Sports Phys Ther. 2009</p>	<p>Esaminare il timing di attivazione delle tre porzioni del trapezio in relazione al deltoide posteriore e tra loro stesse in quattro esercizi.</p>	30	21-27	Elettrodi di superficie	3	Estensione da prono e abduzione orizzontale da prono promuovono una migliore e precoce attivazione di LT e MT rispetto a UT e PD.
<p>Uhl TL, Carver TJ, Mattacola CG, Mair SD, Nitz AJ. Shoulder musculature activation during upper extremity weight-bearing exercise. J Orthop Sports Phys Ther. 2000</p>	<p>Determinare la domanda della muscolatura della spalla durante 7 esercizi a catena cinetica chiusa con carichi progressivi e la relazione tra postura e attivazione muscolare</p>	18	19-25	Aghi ed elettrodi di superficie	1	Durante one arm push up c'è una forte attivazione di infraspinato e deltoide posteriore che agiscono per stabilizzare il tronco ed impedirne la caduta, come gli abduttori dell'anca durante il ciclo del passo.
<p>Ha SM, Kwon OY, Cynn HS, Lee WH, Park KN, Kim SH, Jung DY.</p>	<p>Determinare il più efficace esercizio per attivare i muscoli</p>	20	21-25	Elettrodi di superficie	3	Nel Backward rocking arm lift dove il braccio è

<p>Comparison of electromyographic activity of the lower trapezius and serratus anterior muscle in different arm-lifting scapular posterior tilt exercises. Phys Ther Sport. 2012</p>	<p>scapolari che eseguono il movimento di tilt posteriore, comparando l'attività EMG generata dai diversi esercizi.</p>					<p>abdotto a 180° si attiva maggiormente il SA, mentre nel Backward docking diagonal arm lift dove il braccio è abdotto a 145° si attiva maggiormente il LT.</p>
<p>Suenaga N, Minami A, Fujisawa H. Electromyographic analysis of internal rotational motion of the shoulder in various arm positions. J Shoulder Elbow Surg 2003</p>	<p>Valutare la migliore e isolata attività EMG del sottoscapolare in quattro differenti posizioni della spalla.</p>	<p>8</p>	<p>24-33</p>	<p>Aghi ed elettrodi di superficie</p>	<p>3</p>	<p>La maggior attivazione EMG del sottoscapolare è nella posizione del lift-off, ma la più selettiva è nella Zero-position, minore attività del gran dorsale rispetto al primo.</p>

Tabella 1.

4. Risultati

I 15 articoli inclusi erano tutti studi sperimentali o studi di laboratorio controllati. Questi esperimenti forniscono una lista di esercizi evidence-based che mira a reclutare specificamente, massimamente ed efficientemente la cuffia dei rotatori o la muscolatura periscapolare. Grazie a questa ricerca si è potuta stabilire un'utile serie di esercizi che promuovessero la stabilità gleno-omerale e favorissero un corretto ritmo scapolo-omerale.

Degli articoli inclusi, otto descrivono degli esercizi per rafforzare uno o più muscoli della cuffia dei rotatori: subscapularis (sottoscapolare), teres minor (piccolo rotondo), infraspinatus (infraspinato) e supraspinatus (sopraspinato). Nove articoli hanno ricercato esercizi per la muscolatura periscapolare: trapezius (trapezio superiore, medio e inferiore), serratus anterior (serrato anteriore). Otto articoli hanno indagato il gruppo di muscoli composto da deltoideus (deltoide medio e posteriore), pectoralis major (gran pettorale), latissimus dorsi (gran dorsale), teres major (grande rotondo) e rhomboideus major (grande romboide). Tale gruppo è stato chiamato per convenzione "muscolatura assio-appendicolare"; lo stesso non è strettamente legato al ritmo scapolo-omerale, ma è composto da muscoli che vanno ad influire nella cinematica della spalla e devono essere rafforzati, soprattutto dopo periodi medio-lunghi di immobilizzazione. Quattro dei totali quindici articoli hanno ricercato esercizi sia per la cuffia dei rotatori che per la muscolatura periscapolare; cinque, invece, sono gli articoli che hanno studiato la cuffia dei rotatori ed il terzo gruppo.

Gli esercizi che producevano il più alto reclutamento muscolare per i muscoli selezionati ed erano reputati importanti per la stabilità ed il ritmo gleno-omerale sono stati selezionati per la tabella riassuntiva degli esercizi. Gli esercizi sono stati assegnati a tre differenti gruppi muscolari: cuffia dei rotatori, muscolatura periscapolare, muscolatura assio-appendicolare, in base al principale muscolo attivato. Gli esercizi che soddisfacevano i requisiti per più di un gruppo sono stati accorpati.

4.1 Esercizi per la cuffia dei rotatori

Rafforzare i muscoli della cuffia dei rotatori è imperativo per l'ottimale funzione della spalla. Collettivamente, questi muscoli mantengono la testa omerale compressa saldamente nella fossa glenoidea durante le attività dinamiche, prevenendo così la traslazione superiore della testa omerale.^{3,7} Gli articoli inclusi hanno constatato che i seguenti esercizi per la cuffia dei rotatori hanno raggiunto la miglior attivazione elettromiograficamente: rotazione esterna isometrica⁷, rotazione esterna in decubito laterale¹, one arm push up¹⁴, full can⁹, abduzione orizzontale da prono a 100° con rotazione esterna^{1,10}, push-up plus¹², zero-position rotazione interna¹¹ e diagonal exercise¹².

La rotazione esterna isometrica resistita in adduzione massimizza il reclutamento del muscolo infraspinatus, mentre il coinvolgimento del deltoide è molto basso se eseguito a basso-medio carico, ovvero non eccedendo il 40% della contrazione massima isometrica e volontaria.⁷

Reinold et al.¹ hanno trovato che la rotazione esterna in decubito laterale ha la maggior resa per quanto riguarda infraspinatus e teres minor. Questi autori suppongono che la posizione dell'avambraccio contro gravità aumenti l'attivazione necessaria per il movimento. Cools et al.⁸ in seguito hanno dimostrato che la rotazione esterna in decubito laterale minimizza inoltre l'attivazione del trapezio superiore con un basso rapporto (ratio) trapezio superiore/trapezio inferiore (UT/LT). La minima attivazione del UT è come se fosse il risultato dell'eliminazione della gravità e in questa posizione viene minimizzato il suo ruolo posturale.⁸ Il terapeuta dovrebbe evitare di prescrivere a soggetti con uno squilibrio UT/LT esercizi che includano la rotazione esterna in stazione eretta dovuta all'eccessiva attivazione posturale del UT.^{3,8}

Nello studio di Uhl et al.¹⁴ si valutavano esercizi a catena cinetica chiusa con progressivo aumento del carico dato dal peso del corpo. L'infraspinato era molto attivo nell'ultimo esercizio proposto, cioè il "one arm push-up", dove il soggetto era in posizione di push-up con un braccio sollevato da terra e doveva cercare di mantenere tale posizione. La spiegazione che gli autori hanno dato per quest'impegno dell'infraspinato (e del deltoide posteriore) è che in questa particolare situazione questo muscolo funziona come gli abduttori dell'anca durante la fase di slancio del passo: deve lavorare molto per cercare di mantenere la stabilità necessaria affinché il lato opposto non scenda verso il basso.

Elicitare in modo specifico un muscolo della cuffia dei rotatori, minimizzando i muscoli posturali e quelli sinergici, può essere una sfida. Reinold et al.⁹ hanno studiato tre posizioni: full can, empty

can e prone full can, trovando che l'attivazione del sovraspinato è simile nelle tre posizioni, ma che la full can position produce una minor attivazione del deltoide (medio e posteriore) ed è la migliore per reclutare e riabilitare tale muscolo. Questi risultati sono supportati da Yasojima et al.² che, studiando sempre le posizioni empty can e full can, hanno trovato gli stessi risultati specificando che la miglior attivazione del sovraspinato è fra i 10° e i 60° durante il full can. L'esercizio di resistenza in questa posizione focalizza l'attività sul sovraspinato, con minor attività EMG del deltoide e degli altri muscoli. La ridotta attività EMG del deltoide può minimizzare la quantità della migrazione superiore della testa omerale. Inoltre, questa posizione ha un più largo spazio subacromiale³¹ e, così, si potrebbe diminuire il rischio di impingement subacromiale meccanico.

L'abduzione orizzontale con rotazione esterna come riportato da Townsend et al.¹⁰ rivela un basso rapporto UT/LT rispetto al medesimo esercizio senza la rotazione esterna.⁸ Così l'abduzione orizzontale con rotazione esterna è un buon esercizio per il sovraspinato per due ragioni: alta attivazione muscolare e bassa ratio UT/LT. Comunque, l'abduzione orizzontale a 100° con massima rotazione esterna produce maggiori livelli di attivazione del deltoide e potrebbe non essere un vantaggioso esercizio per pazienti con povera stabilità dinamica della spalla secondari a traslazione superiore della testa omerale con l'attivazione deltoidea.¹



Fig. 1 Zero-position by Saha, per il muscolo sottoscapolare.

Suenaga et al.¹¹ hanno studiato il sottoscapolare in diverse posizioni. La rotazione interna resistita in zero-position (155° di abduzione sul piano scapolare) dimostrava un'alta EMG dell'attività muscolare del sottoscapolare e ridotta attività del gran pettorale dovuta alla posizione con maggior abduzione

gleno-omerale. In questo studio l'attività EMG del sottoscapolare era più alta sia in posizione lift-off che in

rotazione interna a 90° di abduzione rispetto alla zero-position, ma al contempo vi era un'alta attività muscolare del gran dorsale nella prima posizione e del gran pettorale nella seconda.

Decker et al.¹² hanno cercato di dividere l'allenamento e il reclutamento del sottoscapolare per le sue due porzioni superiore e inferiore. Gli esercizi push-up plus e diagonal exercise, rispetto ai più tradizionali esercizi di rotazione interna a 0° e 90° di abduzione gleno-omerale, producono una più alta attività EMG per entrambe le porzioni del muscolo sottoscapolare. Hess et al.¹³ hanno notato che la precoce attivazione del sottoscapolare in relazione agli altri muscoli della cuffia dei rotatori è critica per il supporto e la protezione dell'articolazione gleno-omerale.



Fig. 2: Starting position diagonal exercise



Fig. 3: Ending position diagonal exercise.

Gli esercizi per la cuffia dei rotatori sono stati riportati nella Tabella 2.

ESERCIZIO	MUSCOLO PRINCIPALE	DESCRIZIONE
Extrarotazione isometrica	Infraspinatus	Seduto con il braccio completamente addotto al fianco, gomito flesso a 90°, ginocchia flesse a 90°. Il paziente applica un carico tra il 10%-40% della massima contrazione volontaria isometrica.
One Arm Push Up	Infraspinatus	In posizione "Push-up" (piedi appoggiati a terra e braccia estese) solleva da terra l'arto superiore "sano", cercando di mantenere questa posizione.
Extrarotazione in decubito laterale	Infraspinatus Teres minor	Steso sul fianco con il braccio completamente addotto e ruotato internamente, gomito flesso a 90°. Il paziente effettua un ER della spalla verso il soffitto.
Full Can	Supraspinatus	Paziente in piedi elevazione dell'arto sul piano scapolare (scaption) fino a 90° con totale extrarotazione glenomerale.
Abduzione Orizzontale a 100° gradi con extrarotazione completa in decubito prono	Supraspinatus	Paziente solleva l'arto esteso verso il soffitto mantenendo collo e testa in posizione neutra.
Zero-Position Intrarotazione	Subscapularis	Rotazione neutra dell'omero, braccio elevato fino a 155° sul piano scapolare, viene applicata una rotazione interna contro resistenza.
Diagonal Exercise	Upper Subscapularis Lower Subscapularis	Paziente in piedi, ginocchia leggermente piegate, piedi larghezza delle spalle, resistenza elastica fissata all'altezza delle spalle, gomito leggermente flesso e omero in rotazione neutra, addotto a 90°. Paziente flette e adduce orizzontalmente e intraruota l'omero fino a toccare la spina iliaca superiore opposta.
Push Up Plus	Upper Subscapularis Lower Subscapularis	Paziente prono con le braccia larghezza delle spalle e petto vicino al pavimento, estende i gomiti fino alla posizione push-up standard poi continua a salire protraendo la scapola (movimento plus).

Tabella 2.

4.2 Esercizi per la muscolatura periscapolare

Per promuovere il corretto ritmo scapolo-omerale, la muscolatura stabilizzante della scapola deve essere in condizione di consentire il movimento regolare della scapola e prevenire lo “scapular winging” (scapole alate). Gli articoli inclusi hanno trovato i seguenti esercizi periscapolari come i migliori nell’attivazione e nel reclutamento muscolare: abduzione orizzontale da prono con rotazione esterna a 90° ^{3,17}; overhead arm raise a 125° ¹⁷, push-up plus^{15,16}, dynamic hug¹⁵, backward rocking arm lift⁵, backward rocking diagonal arm lift⁵, shoulder shrug²⁰. L’obiettivo di questi esercizi era rafforzare il serrato anteriore e il trapezio medio e inferiore²¹.

La revisione dei 6 articoli per i muscoli periscapolari descrive come il ricondizionamento e il rafforzamento dei sopramenzionati esercizi sia la chiave per un bilanciato programma riabilitativo per la spalla. In accordo con Ekstrom et al.²², il trapezio e il serrato anteriore sono i muscoli più importanti per il ripristino del normale ritmo scapolo-omerale. Comunque, un’attivazione debole del serrato anteriore potrebbe essere sopraffatta del trapezio superiore e potrebbe causare un dolore ulteriore in pazienti con impingement della scapolare, secondario all’eccessiva azione del trapezio superiore che effettua l’elevazione scapolare e il tilt scapolare anteriore.^{3,8,17,22}

Di conseguenza, prima di prescrivere un esercizio per la spalla, bisogna considerare il bilanciamento della muscolatura scapolare^{3,8,17,22}. Nello specifico, il rapporto (ratio) tra la forza muscolare tra i muscoli trapezio superiore (UT), medio (MT), inferiore (LT) e serrato anteriore (SA) deve essere bilanciata.^{3,8,17,22}

L’abduzione orizzontale da prono con piena extrarotazione a 90° e l’overhead arm raise a 125° sono ottimi esercizi, molto simili, per il reclutamento di MT e LT¹⁷, rispetto a UT. La miglior attivazione muscolare si ha con la spalla a 90° di abduzione gleno-omerale ma, poiché la differenza risulta non significativa, si preferisce l’abduzione a 125° per il reclutamento del LT per l’orientamento delle sue fibre. Viene così preferita l’abduzione a 90° per reclutare il MT. Lo studio di De Mey et al.³ ha individuato come durante queste due tipologie di esercizio, assieme all’estensione da prono, c’è un’attivazione precoce di MT e LT rispetto a UT e deltoide posteriore molto significativa³.

Ha et al.⁵ hanno ricercato l’attivazione di LT e SA in due nuovi esercizi che ricercavano il tilt posteriore scapolare (SPT), quindi con posizioni che richiedevano di portare l’arto superiore ai gradi estremi di movimento. La rotazione scapolare vero l’alto e lo SPT sono componenti essenziali nel lancio e nelle attività overhead⁵. Così i risultati mostrano che LT ha una significativa maggiore

attività nel backward rocking diagonal arm lift, che prevede l'elevazione dell'arto superiore ai gradi estremi con abduzione gleno-omerale di 145°, probabilmente perché effettuato contro gravità e con il miglior allineamento per le fibre muscolari del LT.



Fig. 4: Backward rocking diagonal arm lift, per il muscolo trapezio inferiore

Il backward rocking arm lift è stato effettuato ai gradi estremi di abduzione gleno-omerale, circa 180°, che simula lo SPT e facilita l'attivazione del SA⁵. Quest'esercizio suscita minor attivazione del LT, a causa dell'orientamento delle fibre, così il SA può richiedere maggior attivazione per produrre uno SPT massimale.



Fig. 5: Backward rocking arm lift exercise, per il muscolo serrate anteriore

Gli esercizi (push-up plus, dynamic hug) che suscitano la più grande quantità di attività muscolare del SA sono quelli che mantengono la scapola protratta e ruotata verso l'alto¹⁵. È importante notare che i più alti livelli dell'attività EMG del SA possono essere raggiunti in un range di movimento inferiore ai 90° di elevazione omerale¹⁵. Clinicamente, questo è importante con spalle che presentano impingement e/o scapole alate, nel qual caso l'esercizio push-up plus è ottimale, infatti produce grande attivazione del SA con una bassa UT/SA ratio^{15,16}. L'esercizio "push-up plus" produce minima attivazione del trapezio superiore con massima attivazione del serrato anteriore. Lo studio di Decker et al.¹⁵ sottolinea una importante differenza: l'esercizio "push-up plus" suscita la maggiore attività muscolare media del SA e il "dynamic hug" la maggiore attività muscolare di picco del SA, entrambi nella fase concentrica dell'esercizio.

L'esercizio "shoulder shrug", cioè un'elevazione, retrazione e depressione della scapola, con resistenza elastica moderata è stato studiato da Hintermeister et al.²⁰ come esercizio generico per ricondizionare il muscolo trapezio, ma ragionando sul movimento in cui esprime maggiore attività

EMG, nell'elevazione e nella retrazione, si pensa che sia un esercizio più per il trapezio superiore che per le altre porzioni di tale muscolo. È quindi un esercizio da evitare in caso di squilibrio tra UT/MT e UT/LT.

Gli esercizi per la muscolatura periscapolare sono stati riportati nella Tabella 3.

ESERCIZIO	MUSCOLO PRINCIPALE	DESCRIZIONE
Push Up Plus	Serratus Anterior Lower Trapezius	Paziente, prono con le braccia larghezza delle spalle e petto vicino al pavimento, estende i gomiti fino alla posizione push-up standard poi continua a salire protraendo la scapola (movimento plus).
Dynamic Hug	Serratus Anterior	Adduzione orizzontale dell'omero a 60° di costante elevazione mentre le mani seguono un immaginario arco fino al raggiungimento della massima protrazione scapolare.
Backward Rocking Arm Lift (per raggiungere SPT)	Serratus Anterior	Paziente dalla posizione in ginocchio flette il busto fino ad arrivare con il petto vicino al pavimento, mantenendo a contatto talloni e glutei. La fronte appoggiata sulla mano che non lavora. L'altro braccio, con gomito esteso, con un'abduzione di 180° parte da terra e poi viene sollevato.
Backward Rocking Diagonal Arm Lift (SPT)	Lower Trapezius	Paziente dalla posizione in ginocchio flette il busto fino ad arrivare con il petto vicino al pavimento mantenendo a contatto talloni e glutei. La fronte appoggiata sulla mano che non lavora. L'altro braccio, con gomito esteso, con un'abduzione di 145° parte da terra e poi viene sollevato.
Overhead Arm Raise a 125°	Lower Trapezius Middle Trapezius	Abduzione orizzontale da prono a 125° di abduzione con completa extrarotazione. Testa e collo in posizione neutra.
Abduzione Orizzontale e Rotazione Esterna in decubito prono a 90°.	Middle Trapezius Lower Trapezius	Abduzione orizzontale da prono a 90° di abduzione con completa extrarotazione. Testa e collo in posizione neutra.
Shoulder Shrug con resistenza elastica	Trapezius	Paziente in piedi con resistenza elastica fissa sotto il piede. Braccio esteso, elevazione e retrazione scapolare.

Tabella 3.

4.3 Esercizi per la muscolatura assio-appendicolare

Il nome a questo gruppo è stato dato in base alle inserzioni dei muscoli: l'origine è dal tronco (colonna o sterno) mentre l'inserzione è a livello del cingolo scapolare ovvero la scapola e l'omero. Sono stati raggruppati muscoli eterogenei sotto questo gruppo, che hanno minor importanza per ciò che concerne la stabilità gleno-omerale e il ritmo scapolo-omerale, ma che comunque sono muscoli che muovono l'arto superiore e che devono essere ricondizionati e allenati dopo traumi o in conseguenza a periodi di immobilizzazione (es. lussazioni o interventi chirurgici alla spalla). I muscoli inseriti in questo gruppo sono: gran dorsale, gran pettorale, grande rotondo, grande romboide, deltoide medio e posteriore. Gli articoli inclusi che hanno trovato la miglior attivazione per questi muscoli con gli esercizi: isometric adduction a 30°¹⁸, prone full can o abduzione orizzontale da prono a 100°^{1,9}, one arm push up¹⁴, empty can⁹, flat bench press¹⁹, 45° inclined bench press¹⁹.

Reed et al.¹⁸ hanno studiato l'adduzione isometrica resistita a 30°, 60° e 90° di abduzione gleno-omerale sul piano scapolare. Il suo studio prevedeva la registrazione dell'attività muscolare tramite elettromiografia a carichi crescenti partendo dal 25% del massimale fino al 100%. I risultati ci informano che con quest'esercizio al carico massimale consentito dal soggetto c'è un'importante attivazione muscolare del grande rotondo, grande romboide e gran dorsale a 30° di abduzione rispetto agli altri gradi di abduzione gleno-omerale. Gli alti livelli di attività del gran dorsale e del grande rotondo registrati indicano che questi sono i muscoli che contribuiscono maggiormente al momento torcente dell'adduzione^{18,23,24}. Gli autori si aspettavano un'importante attivazione del grande romboide poiché la downward rotation della scapola accompagna l'adduzione e questo muscolo produce un momento torcente nella rotazione verso il basso della scapola^{18,25}.

Dopo un periodo di immobilizzazione il gran pettorale è uno dei muscoli che si ipotrofizza. Aaron et al.²⁶ hanno esaminato le differenze nell'attività mioelettrica prodotta dai muscoli coinvolti nell'esercizio della "flat bench press" (panca piana) usando diverse prese, trovando che la presa con più ampia della larghezza delle spalle produceva una maggiore attività dei muscoli testati rispetto alla presa più stretta della larghezza delle spalle. L'esercizio della panca è un esercizio usato quotidianamente per la parte superiore del corpo, per sviluppare forza del petto, delle spalla e dei tricipiti²⁷.

Lo studio di Trebs et al.¹⁹ ha indagato l'attività delle due componenti, sternocostale e clavicolare, del gran pettorale nella "flat bench press" e nell'"inclined bench press" a 28°, 44°, 56° rispetto all'orizzontale. I risultati hanno mostrato una diversa attività dei muscoli testati: mentre la componente sternale aveva una maggiore attività elettromiografica nella "flat bench press", l'attività della componente clavicolare risultava maggiore nell'"inclined bench press" a 44° rispetto alle altre angolazioni. Difatti Graham²⁸ ha trovato una curva a U invertita, poiché l'attività della componente clavicolare diminuiva a gradi maggiori di 44°. Per rafforzare selettivamente le componenti sternale e clavicolare del gran pettorale si possono usare "flat bench press" per la prima e un'inclinazione di circa 45° nell'"inclined bench press"¹⁹.

Secondo Porcellini et al.²⁹ il rinforzo muscolare dei muscoli della spalla ha un ordine ben preciso. Per primi gli abbassatori della testa omerale, in seguito la cuffia dei rotatori, proseguendo con i rotatori della scapola e solo in ultimo il muscolo deltoide, prima i fasci anteriori e posteriori e infine quelli medi.

Come già detto in precedenza si è visto che per il deltoide posteriore l'esercizio "one arm push-up"



Fig. 6 One arm push up position per il deltoide posteriore e l'infraspinato.

è molto valido. Una spiegazione di questo effetto è che durante gli esercizi con un solo braccio il deltoide posteriore e l'infraspinato funzionano come gli abductori d'anca durante la stazione eretta con un solo arto. Quando una persona scarica l'arto inferiore opposto prima della fase "swing" del passo, gli abductori d'anca dell'arto in carico devono essere attivati per impedire la caduta della pelvi controlaterale³⁰. La rimozione dell'arto superiore ha effetti simili in queste attività; i muscoli precedentemente citati controllano o

impediscono la caduta della spalla contro laterale, mantenendo il tronco parallelo al pavimento¹⁴.

Due articoli di Reinold et al.^{1,9} hanno mostrato l'efficacia dell'abduzione orizzontale da prono con extrarotazione a 100° di abduzione gleno-omerale per l'attivazione muscolare del deltoide posteriore. Nel primo studio fatto nel 2004 Reinold et al.¹, ricercando l'attivazione muscolare in diversi muscoli e in 7 esercizi, hanno trovato un'attivazione muscolare simile tra sopraspinato, deltoide medio e posteriore. Il secondo, effettuato nel 2007, mirava più specificamente a questi 3 muscoli in differenti esercizi "full can", "empty can" e "prone full can". I risultati mostravano una simile attivazione muscolare nei tre esercizi del sopraspinato favorito nel "full can" dalla poca

attivazione del deltoide in genere; una maggiore attivazione muscolare per il deltoide posteriore nel prone full can (conferma dello studio precedente), mentre per il deltoide medio il miglior esercizio era l' "empty can"⁹. La più alta attività EMG del deltoide medio durante l'esercizio "empty can" in relazione agli altri due esercizi può risultare in una direzione superiore delle forze di taglio, che potrebbero essere dannosi in pazienti con dolore alla spalla, debolezza della cuffia dei rotatori e inefficace stabilizzazione dinamica⁹. Queste considerazioni sono importanti perché bisogna valutare di quale degli esercizi descritti necessita il soggetto, senza consegnare programmi standard di esercizi ai soggetti patologici.

Gli esercizi per l'ultimo gruppo preso in esame sono riportati nella Tabella 4.

ESERCIZIO	MUSCOLO PRINCIPALE	DESCRIZIONE
Abduzione Orizzontale a 100° gradi con extrarotazione completa in decubito prono	Posterior Deltoideus	Paziente solleva l'arto esteso verso il soffitto mantenendo collo e testa in posizione neutra.
One Arm Push Up	Posterior Deltoideus	In posizione "Push-up" (piedi appoggiati a terra e braccia estese) solleva da terra l'arto superiore "sano", cercando di mantenere questa posizione.
Empty Can	Middle Deltoideus	Paziente in piedi elevazione dell'arto sul piano scapolare con totale intrarotazione glenomerale.
Flat Bench Press	Sternocostal Pectoralis Major	Paziente supino su una superficie piana (panca), mani a livello del torace, adduzione orizzontale dell'omero ed estensione dei gomiti.
45° Inclined Bench Press	Clavicular Pectoralis Major Anterior Deltoideus	Paziente supino su una superficie inclinata di 45° rispetto all'orizzontale, mani a livello del torace, flessione e adduzione orizzontale dell'omero ed estensione dei gomiti.
Isometric Adduction a 30°	Latissimus Dorsii Teres Major Romboid Major	Paziente con braccio abdotto a 30° sul piano scapolare. Gomito esteso, adduzione isometrica contro resistenza massimale.

Tabella 4.

5. Discussione

Quest'elaborato sintetizza un gruppo di esercizi evidence-based, riassunti in una tabella, che si focalizza sulla stabilizzazione delle articolazioni scapolo-toracica e scapolo-omerale promuovendo il ritmo scapolo-omerale. I dati elettromiografici forniscono ulteriori prove empiriche per suggerire diverse serie di esercizi per la spalla sulla base dell'attivazione muscolare individuale o collettiva dei muscoli periscapolari e della cuffia dei rotatori.

Lo scopo dell'elaborato è quello di fare in modo che la serie di esercizi delineati assista i fisioterapisti e terapisti manuali nella scelta di un programma che garantisca l'equilibrio tra la cuffia dei rotatori, la muscolatura periscapolare e i muscoli assio-appendicolari, facilitando allo stesso tempo il corretto ritmo scapolo-omerale e scapolo-toracico. Nello specifico gli esercizi suggeriti hanno lo scopo di promuovere la forza, l'equilibrio e la coordinazione tra i principali rotatori scapolari, UT e SA e la muscolatura della cuffia dei rotatori.

Secondo Decker et al.¹⁵ “un muscolo serrato anteriore affaticato ridurrà la rotazione e la protrazione scapolare e permetterà alla testa omerale di traslare anteriormente e superiormente, portando a possibile impingement secondario o a lesione della cuffia dei rotatori.” Secondo Ludewig¹⁶ e Cook⁸ “per i pazienti con squilibrio di attivazione in favore del trapezio superiore rispetto al serrato anteriore, un esercizio che dimostra una bassa ratio UT/SA sarebbe un importante componente della riabilitazione per permettere un rafforzamento selettivo del SA e una riduzione dello squilibrio”. Di conseguenza si suggerisce di dare la priorità agli esercizi della spalla che promuovono basse ratio tra UT/SA, UT/LT e UT/LT.

Gli articoli revisionati hanno descritto alcuni esercizi, per i muscoli selezionati, con attività EMG più alte, ma che coinvolgevano muscoli secondari con attività anche maggiori del muscolo oggetto di indagine (esempio il “lift off”: il sottoscapolare aveva una EMG più alta rispetto alla “zero-position”, ma con un coinvolgimento maggiore di gran pettorale e gran dorsale¹¹), che non sono stati quindi inclusi nella tabella riassuntiva degli esercizi. Inoltre, si suggerisce di utilizzare esercizi che producono una bassa ratio UT/SA anche durante gli esercizi per la cuffia dei rotatori (es. rotazione in decubito laterale e abduzione orizzontale da prono)⁸.

Ci sono due principali limiti dell'elaborato: il primo è il numero esiguo di articoli revisionati, dovuto anche alla specifica stringa di ricerca utilizzata, e i criteri di inclusione “rigidi” che potrebbero aver escluso studi con esercizi EMG. Comunque questi criteri uniformano gli articoli e gli esercizi presi in considerazione per lo sviluppo della tabella degli esercizi. Il secondo è invece

che il posizionamento degli elettrodi dell'elettromiografia può spostarsi durante l'attività muscolare, diminuendo relativamente la riproducibilità tra i tester, portando così a dati divergenti tra gli studi. In aggiunta, i risultati tra gli elettrodi di superficie e gli aghi possono differire a seconda dei muscoli testati.

6. Conclusioni

Gli esercizi discussi nei 15 articoli forniscono ai fisioterapisti una varietà di esercizi di condizionamento scapolo toracici e gleno-omerali. Questi articoli sono dettagliati per quel che riguarda il posizionamento del paziente, l'arco di movimento e altre misure di affidabilità. Lo scopo di questo elaborato è dunque quello di aiutare i terapisti, tramite uno strumento basato su prove, a stabilire un pratico programma di esercizi per la spalla "evidence based".

Un articolo a follow-up che esponga nel dettaglio la priorità, la progressione e l'implementazione degli esercizi proposti, può ulteriormente offrire ai terapisti un aiuto per far progredire il paziente attraverso un programma di esercizi per la spalla "evidence based". Ulteriori studi che indagano quale esercizio avvantaggi la cinematica scapolare, su soggetti con determinata patologia o che confrontino qualcuno degli esercizi dell'elaborato tra gruppi di soggetti sani e patologici sono auspicabili per il futuro come strumento ulteriore utile sia al fisioterapista che al paziente.

7. Key points

- La spalla è l'articolazione più mobile del corpo umano; senza una corretta stabilizzazione statica e dinamica può facilmente andare incontro a disfunzioni.
- Un programma di esercizi evidence-based è un aiuto al fisioterapista, così da sapere quale esercizio attiva maggiormente un determinato muscolo.
- Il "full can" è un ottimo esercizio per il supraspinatus, l'extrarotazione in decubito laterale attiva teres minor e infraspinatus; la "zero-position" è buona per il subscapularis.
- Per il serratus anterior è meglio scegliere esercizi al di sotto dei 90° di flessione omerale come il "push-up plus" e il "dynamic hug"
- Middle e inferior trapezius possono essere allenati in decubito prono e con arto in abduzione di 90° per il primo e 125° per il secondo.
- Ulteriori studi di confronto tra soggetti sani e patologici sono auspicabili per il futuro
- Nonostante il programma di esercizi "evidence-based" la regola principe per una buona riuscita del programma riabilitativo è una approfondita conoscenza del quadro patologico in esame.

BIBLIOGRAFIA

1. Reinold MM, Wilk KE, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Chmielewski T, Cody RC, Jameson GG, Andrews JR. *Electromyographic analysis of the rotator cuff and deltoid musculature during common shoulder external rotation exercises*. J Orthop Sports Phys Ther. 2004 Jul;34(7):385-94.
2. Yasojima T, Kizuka T, Noguchi H, Shiraki H, Mukai N, Miyanaga Y. *Differences in EMG activity in scapular plane abduction under variable arm positions and loading conditions*. Med Sci Sports Exerc. 2008 Apr;40(4):716-21
3. De Mey K, Cagnie B, Danneels LA, Cools AM, Van de Velde A. *Trapezius muscle timing during selected shoulder rehabilitation exercises*. J Orthop Sports Phys Ther. 2009 Oct;39(10):743-52. doi: 10.2519/jospt.2009.3089.
4. Ludewig PM, Hoff MS, Osowski EE, Meschke SA, Rundquist PJ. *Relative balance of serratus anterior and upper trapezius muscle activity during push-up exercises*. Am J Sports Med. 2004 Mar;32(2):484-93.
5. Ha SM, Kwon OY, Cynn HS, Lee WH, Park KN, Kim SH, Jung DY. *Comparison of electromyographic activity of the lower trapezius and serratus anterior muscle in different arm-lifting scapular posterior tilt exercises*. Phys Ther Sport. 2012 Nov;13(4):227-32.
6. Cricchio M, Frazer C. *Scapulothoracic and scapulohumeral exercises: a narrative review of electromyographic studies*. J Hand Ther. 2011 Oct-Dec;24(4):322-33.
7. Bitter NL, Clisby EF, Jones MA, Margarey ME, Jaberzadeh S, Sandow MJ. *Relative contributions of infraspinatus and deltoid during external rotation in healthy shoulder*. J Shoulder Elbow Surg 2007; 16:563-8.
8. Cools AM, Dewitte V, Lanszweert F, et al. *Rehabilitation of scapular muscle balance: which exercise to prescribe?* Am J Sports Med 2007;35:1744-51.
9. Reinold MM, Macrina LC, Wilk KE, Fleisig GS, Dun S, Barrentine SW, Ellerbusch MT, Andrews JR. *Electromyographic analysis of the supraspinatus and deltoid muscles during 3 common rehabilitation exercises*. J Athl Train. 2007;42:464-9.
10. Townsend H, Jobe FW, Pink M, Perry J. *Electromyographic analysis of the glenohumeral muscles during a baseball rehabilitation program*. Am J Sports Med. 1991;19:264-72.
11. Suenaga N, Minami A, Fujisawa H. *Electromyographic analysis of internal rotational motion of the shoulder in various arm position*. J Shoulder Elbow Surg. 2003;12(5):501-5.

12. Decker MJ, Tokish JM, Ellis HB, Torry MR, Hawkins RJ. *Subscapularis muscle activity during selected rehabilitation exercises*. Am J Sports Med. 2003;31:126-34.
13. Hess SA, Richardson C, Darnell R, Friis P, Lisle D, Myers P. *Timing of rotator cuff activation during shoulder external rotation in throwers with and without symptoms of pain*. J Orthop Sports Phys Ther. 2005;35:812-20.
14. Uhl TL, Carver TJ, Mattacola CG, Mair SD, Nitz AJ. *Shoulder musculature activation during upper extremity weight-bearing exercise*. J Orthop Sports Phys Ther. 2003;33(3):109-17.
15. Decker MJ, Hintermeister RA, Faber KJ, Hawkins RJ. *Serratus anterior muscle activity during selected rehabilitation exercises*. Am J Sports Med. 1999;27(6):784-91.
16. Ludewig PM, Hoff MS, Osowski EE, Meschke SA, Rundquist PJ. *Relative balance of serratus anterior and upper trapezius muscle activity during push-up exercises*. Am J Sports Med. 2004 Mar;32(2):484-93.
17. Kinney E, Wusthoff J, Zyck A, Hatzel B, Vaughn D, Strickler T, Glass S. *Activation of the trapezius muscle during varied forms of Kendall exercises*. Phys Ther Sport. 2008;9(1):3-8.
18. Reed D, Halaki M, Ginn K. *The rotator cuff muscles are activated at low levels during shoulder adduction: an experimental study*. J Physiother. 2010;56(4):259-64.
19. Trebs AA, Brandenburg JP, Pitney WA. *An electromyography analysis of 3 muscles surrounding the shoulder joint during the performance of a chest press exercise at several angles*. J Strength Cond Res. 2010 Jul;24(7):1925-30
20. Hintermeister RA, Lange GW, Schultheis JM, Bey MJ, Hawkins RJ. *Electromyographic activity and applied load during shoulder rehabilitation exercises using elastic resistance*. Am J Sports Med. 1998 Mar-Apr;26(2):210-20.
21. Kibler WB, Sciascia AD, Dome DC. *Evaluation of apparent and absolute supraspinatus strength in patients with shoulder injury using the scapular retraction test*. Am J Sports Med. 2006;34:1643-7.
22. Ekstrom RA, Donatelli RA, Soderberg GL. *Surface electromyographic analysis of exercises for the trapezius and serratus anterior muscles*. J Orthop Sports Phys Ther. 2003;33:247-58.
23. Hughes RE, An KN. *Force analysis of rotator cuff muscles*. Clin Orthop. 1996;330:75-83.
24. Kuechle DK, Newman SR, Itoi E, Morrey BF, An KN. *Shoulder muscle moment arms during horizontal flexion and elevation*. J Shoulder Elbow Surg. 1997;6:429-39.
25. Oatis CA. *Kinesiology, The mechanics and pathomechanics of human movement (2nd edn)*. 2009 Baltimore: Lippincott William and Wilkins.

26. Aaron C, Clemons JM. *Effect of grip width on the myoelectric activity of the prime movers in bench press*. J Strength Cond Res. 1997;11:82-87.
27. Welsch EA, Bird M, Mayhew JL. *Electromyographic activity of the pectoralis major and anterior deltoid muscles during three upper-body lifts*. J Strength Cond Res. 2005;19:449-52.
28. Graham JF. *Dumbbell incline press*. Strength Cond J. 2002;24:16-17.
29. G. Porcellini, A.Castagna. *La spalla: Patologia, Tecnica chirurgica, Riabilitazione*. 2003. Verduci Editore.
30. Perry J. *Gait analysis: normal and pathological function*. Thorofare, NJ. 1992:111-130.
31. Graichen HH, Bonel T, Stammberger KH, Englmeier M, Reiser F. *Subacromial space width changes during abduction and rotation a 3-D MR imaging study*. Surg Radiol Anat. 1999;21:59-64.