



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Facoltà di Medicina e Chirurgia

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A 2010 /2011

Campus Universitario di Savona

Stabilità dinamica del gomito: revisione della letteratura.

L'elaborato si propone di descrivere quali sono i muscoli che agiscono sulle articolazioni del gomito e qual è il loro contributo alla stabilità dinamica dello stesso

Candidato:

Dott. Pietro Mazza.

Relatore:

Dott. Diego Arceri

Indice

Abstract	Pag.	03
Introduzione.....	Pag.	04
Materiali e metodi	Pag.	08
Discussione	Pag.	11
Conclusioni	Pag.	18
Bibliografia	Pag.	19

ABSTRACT

Questa revisione della letteratura si pone come obbiettivo quello di esaminare il ruolo che i muscoli dell'articolazione del gomito hanno come stabilizzatori dinamici, di identificarne il contributo relativo e di chiarirne le relazioni di equilibrio con gli elementi stabilizzatori statici, sulla base di evidenze scientifiche presenti in alcuni studi di anatomia articolare, anatomia clinica, biomeccanica e biomeccanica in vitro del gomito.

Gli studi riportati in questa revisione sono in grado di fornire elementi utili per l'individuazione di efficaci programmi di prevenzione e riabilitazione in casi di instabilità dell'articolazione del gomito dovuta a trauma, lesione e nei casi di riabilitazione post-operatoria.

INTRODUZIONE

Nello studio della complessità dei fattori che influenzano la gestione ed il controllo del movimento nelle attività della vita quotidiana, nella performance sportiva, nonché nella capacità di reagire a stimoli esterni potenzialmente traumatici, un ruolo di assoluto rilievo è rappresentato dal sistema di stabilizzazione dell'articolazione del gomito.

Molti autori (1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)(11)(12)(13)(14)(15)(17)(21)(22) si sono concentrati sullo studio della fisiologia di tale sistema e sulle sue applicazioni in ambito pratico, dando ampio sviluppo all'analisi delle sue relazioni in senso preventivo e di recupero.

Tali obiettivi si rendono raggiungibili grazie ad una ampia conoscenza dell'anatomia e della biomeccanica dell'articolazione del gomito.

La stabilità del gomito è garantita dall'intreccio di vincoli statici e dinamici (6)(9)(13)(14).

La stabilità statica è controllata dall'architettura osteoarticolare (congruenza delle superfici articolari del gomito), dalla capsula e dai legamenti. Quella dinamica è determinata da fattori neuromuscolari.

Gli stabilizzatori articolari sono a loro volta suddivisi in vincoli primari e secondari.

Un vincolo primario è definito tale poiché la sua divulgazione provoca lassità, mentre un vincolo è secondario poiché il suo rilascio da solo è insufficiente a causare lassismo ma lo aumenta se associato ad altri traumi a carico dell'articolazione.

Vincoli primari sono:

- L'articolazione ulno-omeroale

ginglimo angolare tra la troclea dell'omero e l'incisura semilunare dell'ulna, permette i movimenti di flessione-estensione.

- Il fascio anteriore del legamento collaterale mediale o ulnare (AMCL o MUCL)

dalla superficie inferiore dell'epitroclea ha origine il legamento collaterale mediale o ulnare e si divide in tre fasci; quello anteriore s'inserisce al margine mediale del processo coronoideo dell'ulna.

- Il complesso legamento collaterale laterale o radiale (LCLC o LCR)

origina dalla superficie inferiore dell'epicondilo e si apre in due fasci: uno anteriore, che si fonde al legamento anulare del radio e si inserisce al margine anteriore dell'incisura radiale, e uno posteriore che si inserisce al margine laterale dell'olecrano.

Se queste tre strutture sono intatte il gomito è stabile.

Vincoli secondari sono:

- L'articolazione radio-omeroale

è una condiloartrosi tra il condilo dell'omero e la fossetta del capitello del radio.

- Il tendine flessore comune
- Il tendine estensore comune

- La capsula

circonda in modo continuo le tre articolazioni del gomito, è molto innervata per la funzione propriocettiva, è più sottile anteriormente e posteriormente in modo da consentire la flessione-estensione, è invece più spessa lateralmente e medialmente per la presenza dei legamenti collaterali.

Come abbiamo precedentemente affermato, la stabilità dinamica del gomito è fornita dai muscoli che attraversano l'articolazione, ovvero i muscoli dell'avambraccio e del braccio (1)(2)(4)(5)(17)(18).

I muscoli dell'avambraccio:

- L'estensore radiale del carpo (ERC)

estende e abduce il polso e interviene nella flessione del gomito e un suo deficit diminuisce la capacità estensoria del polso e predispone ad una deviazione ulnare della mano. Si distinguono un capo lungo e uno breve.

Il capo lungo ha origine nel terzo distale della cresta sopracondiloidea laterale dell'omero e nel setto intermuscolare, e si inserisce sul lato radiale della superficie dorsale della base del secondo metacarpo.

Il capo breve ha origine dall'epicondilo laterale dell'omero, grazie al tendine comune degli estensori, legamento collaterale radiale e fascia antibrachiale; s'inserisce sulla superficie dorsale della base del terzo metacarpo.

- Il pronatore rotondo (PT)

il suo capo omerale ha origine sopra l'epitroclea dell'omero, tendine comune dei flessori e fascia antibrachiale; il suo capo ulnare ha origine medialmente al processo coronoideo dell'ulna. S'inserisce sul terzo medio della superficie laterale del radio; pronatore l'avambraccio e interviene nella flessione del gomito ed un suo deficit predispone ad un atteggiamento in supinazione dell'avambraccio.

- Il flessore radiale del carpo (FCR)

ha origine dall'epitroclea dell'omero mediante il tendine comune dei flessori e fascia antibrachiale e s'inserisce alla base del secondo metacarpo e con un'espansione tendinea alla base del terzo metacarpo; flette e abduce il polso e può intervenire nella pronazione dell'avambraccio e nella flessione del gomito ed un suo deficit riduce la forza di flessione del polso e talvolta quella di pronazione dell'avambraccio. Predispone a deformità in deviazione ulnare della mano

- Il flessore ulnare del carpo (FCU)

ha origine dall'epitroclea dell'omero mediante il tendine comune dei flessori e fascia antibrachiale; s'inserisce sul retinacolo dei flessori e sull'aponeurosi palmare; mette in tensione l'aponeurosi palmare, flette il polso e può intervenire nella flessione del gomito e nella pronazione dell'avambraccio ed un suo deficit riduce la capacità di incavare il palmo della mano e diminuisce la capacità di flessione del polso.

- Il flessore superficiale delle dita (FDS)

ha origine dai tre quarti prossimali delle facce anteriore e mediale dell'ulna, membrana interossea e fascia antibrachiale; s'inserisce con quattro tendini sulla faccia anteriore della base delle falangi distali; flette le falangi distali delle dita ed un suo deficit riduce la forza di flessione del polso.

I muscoli del braccio sono:

- Il bicipite brachiale (BB)

il suo capo lungo ha origine dalla tuberosità sopraglenoidea mediante il tendine che decorre tra la testa dell'omero e la capsula articolare e s'inserisce nel solco bicipitale dell'omero per poi unirsi al capo breve;

il suo capo breve ha origine mediale rispetto al capo lungo, dall'apice del processo coracoideo mediante il proprio tendine e si unisce al capo lungo in un robusto tendine d'inserzione che si fissa alla tuberosità bicipitale del radio. È il principale flessore dell'avambraccio sul braccio e con avambraccio prono ha un'azione supinatoria, agisce in sinergia per l'adduzione e flessione.

- Il coracobrachiale (CB)

ha origine, insieme al capo breve del bicipite brachiale, dall'apice del processo coracoideo della scapola e s'inserisce al terzo medio della faccia antero-mediale dell'omero. Flette e adduce il braccio.

- Il brachiale (B)

ha origine al di sotto dell'inserzione del deltoide, dalle facce antero-mediale e antero-laterale dell'omero e s'inserisce sulla tuberosità dell'ulna, sulla faccia inferiore del processo coronoideo.

– Il tricipite brachiale (TB)

il suo capo lungo ha origine dalla tuberosità sottoglenoidea e dal labbro glenoideo;

il suo capo laterale ha origine dalla faccia posteriore dell'omero, lateralmente al solco del nervo radiale;

il suo capo mediale ha origine dalla faccia posteriore dell'omero, inferiormente al solco del nervo radiale.

I tre capi si portano in basso convergendo in un robusto tendine che s'inserisce alle facce superiore e posteriore ai margini dell'olecrano.

È il priipale estensore dell'avambraccio e promuove l'adduzione dell'omero grazie al capo lungo.

Solo alcuni di questi muscoli determinano lo spostamento del gomito,

ogni muscolo del gomito però applica sull'articolazione un carico di compressione in grado di proteggerlo da instabilità (2)(3)(4)(6)(7)(8)(9)(10)(11)(12)(13)(14)(15)

(16)(17)(18)(19)(20)(21)(22).

In questo studio di revisione della letteratura cercheremo di ricostruire il contributo che i muscoli forniscono alla stabilizzazione del gomito, analizzando gli studi di anatomia e biomeccanica dell'articolazione del gomito condotti dagli autori selezionati e fornendo conoscenze utili per la programmazione di efficaci piani di prevenzione e riabilitazione dell'instabilità articolare.

TABELLA 1 – Riferimenti ai contenuti degli articoli

AUTORE, TITOLO, PUBBLICAZIONE	CONTENUTI
Margary Lockard, PT, PhD "Clinical biomechanics of the elbow" J HAN THER. 2006; 19:72-81	Studio di biomeccanica clinica del gomito riferisce che quando i muscoli bicipite, brachiale e tricipite si contraggono aiutano a prevenire la dislocazione con la produzione di forze di compressione comuni che determinano la stabilità articolare
Park MC, Ahmad CS "Dynamics contributions of the flexor-pronator mass to elbow valgus stability" J Bone Joint Surg 2004; 86A:2268-74	Studio su sei cadaveri con simulazione della contrazione muscolare in modelli che presentavano deficit del legamento collaterale laterale ulnare. Si evidenzia il contributo fondamentale alla stabilità dinamica in valgo ad opera delle forze di compressione prodotte dalla contrazione del bicipite, del brachiale e del tricipite.
Peter Giesel, Dorothea Meisel, Jurgen Scheurle, Heiko Wagner "Stability analysis of the elbow with a load" Journal of theoretical biology 228 (2004) 115-125	Studi sugli stati di equilibrio stabili solo per le proprietà meccaniche dei muscoli e dello scheletro, condotti su un modello di gomito umano assumendo che l'attivazione dei muscoli flessori ed estensori sia costante e tale che l'angolo retto sia uno stato di equilibrio.
Chris D.Bryce, MD, April D.Armstrong, Bsc(PT), MD, MSc, FRCSC "Anatomy and biomechanics of the elbow" ORTHOP CLIN. N Am 39 (2008) 141-154	Studi di anatomia e biomeccanica del gomito.
Lin Fang, Dsc, Navjot Kohli, MD, Sam Perlmutter, BS, Dohyung Lim, PhD, Gordon W.Nuber, MD, and Mohsen Makhosous, PhD "Muscle contribution to elbow joint valgus stability" J Shoulder elbow surg 2007; 16:795-802	Studio per identificare il contributo relativo di ciascun muscolo della FPM e della massa degli estensori-supinatori per la stabilità in valgo a 45° e 90° di flessione del gomito.
John H.Udall, MD, Michael J.Fitzpatrick, MD, Michelle H.McGarry, MS, Thu-Ba Leba, MD, and Thay Q.Lee, PhD "Effects of flexor-pronator muscles loading on valgus stability of the elbow with an intact, stretched and resected medial ulnar collateral ligament" J Shoulder elbow surg (2009) 18, 773-778	Studio sul contributo relativo dei singoli muscoli flessori-pronatori alla stabilità in valgo del gomito e riguardo l'influenza a tali contributi data dallo stato del MUCL.
J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eyendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies" The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176	Studi in vitro di biomeccanica e anatomia del gomito
Marc R.Safran, MD, and David Baillargeon, MD "Soft-tissue stabilizers of the elbow" J Shoulder elbow surg 2005; 14:179S-185S	Studio sui muscoli mediali quali il pronatore rotondo, il flessore superficiale delle dita, il flessore ulnare del carpo e il flessore radiale del carpo.
Vijaya Krishnamoorthy, John P.Scholz and Mark L.Latash "The use of flexible arm muscle synergies to perform an isometric stabilization task" Clin. Neurophysiol. 2007 March; 118(3): 525-537	Osservazione sulle sinergie muscolari flessibili per eseguire un compito isometrico di stabilizzazione.
Albrecht Struppler, Bernhard Angerer, Christian Gundish and Peter Havel "Modulatory effect of repetitive peripheral magnetic stimulation on skeletal muscle tone in healthy subjects: stabilization of the elbow joint" Exp brain res (2004) 157:59-66	Attivazione a livello corticale studiando l'effetto modulatore della stimolazione magnetica ripetitiva periferica (RPMS) sul tono muscolare scheletrico in tredici soggetti sani.
Ilenia Bazzucchi, Msc, Paola Sbriccoli, PhD, Giulia Marzattinocci, Msc, and Francesco Felici, MD "Coactivation of the elbow antagonist muscles is not affected by the speed of movement in isokinetic exercise" Muscle Nerve 33:191-199, 2006	Attivazione antagonista dei flessori ed estensori del gomito durante un esercizio isocinetico concentrico.
Jess G. Alcid MD, Christopher S. Ahmad MD, Thay Q. Lee PhD "Elbow anatomy and structural biomechanics" Clin Sports Med 2004; 24:503-517	Muscoli del gomito che generano forze congiunte atte a stabilizzare l'articolazione comprimendo le superfici articolari.
Nowak TE, Mueller LP, Burkhart KJ, et al. "Dynamic biomechanical analysis of different olecranon fracture fixation devices Tension band wiring versus two intramedullary nail systems: an in vitro cadaveric study" Clin Biomech 2007; 22:658-664	Riferimenti riguardanti l'effetto stabilizzatore dinamico ad opera delle forze di compressione generate dai muscoli del gomito e studi di analisi biomeccanica dinamica di differenti fratture dell'olecrano.

Materiali e Metodi

L'elaborato si propone di descrivere quali sono i muscoli che agiscono sulle articolazioni del gomito e qual è il loro contributo alla stabilità dinamica dello stesso.

Il Motore di ricerca di ricerca utilizzato è **“Pubmed”**.

La banca dati è **“MEDLINE”** e i limiti inseriti sono: **Humans, 10 years, English**.

Le Stringhe di ricerca :

“Dynamic elbow stability”

“Muscle elbow stabilization”

“Dynamic elbow stability muscle” AND “review”

“Dynamic elbow stability” And “muscle”

“muscles control elbow joint” and “stability”

“biomechanical and anatomy and stability and elbow”

Le parole chiave: **Dynamic, stability, stabilization, muscle, biomechanical, anatomy.**

L'esito della ricerca:

Articoli trovati.....82

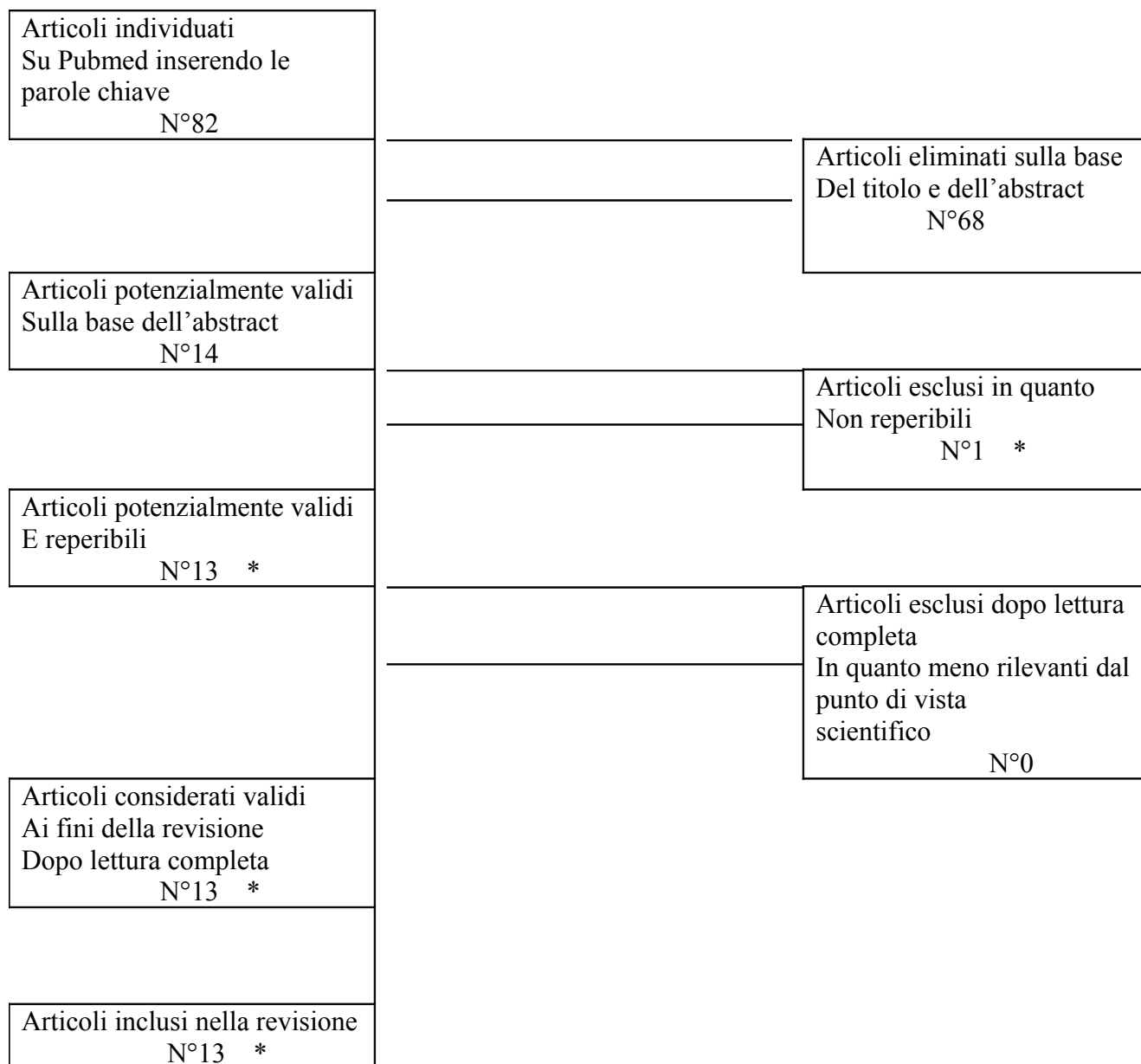
Scartati per titoli o abstract.....68

Rilevanti.....14

Non disponibili.....1

Utilizzati.....13

DIAGRAMMA DI FLUSSO: SELEZIONE DEGLI ARTICOLI



* Riferimenti specifici nella tabella 2

TABELLA 2

AUTORE, TITOLO, PUBBLICAZIONE	MOTIVO DI INCLUSIONE O ESCLUSIONE
Margary Lockard, PT, PhD "Clinical biomechanics of the elbow" J HAN THER. 2006; 19:72-81	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Park MC, Ahmad CS "Dynamics contributions of the flexor-pronator mass to elbow valgus stability" J Bone Joint Surg 2004; 86A:2268-74	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Peter Giesel, Dorothea Meisel, Jurgan Scheurle, Heiko Wagner "Stability analysis of the elbow with a load" Journal of theoretical biology 228 (2004) 115-125	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Chris D.Bryce,MD, April D.Armstrong, Bsc(PT), MD, MSc, FRCSC "Anatomy and biomechanics of the elbow" ORTHOP CLIN. N Am 39 (2008) 141-154	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Lin Fang, Dsc, Navjot Kohli, MD, Sam Perlmutter, BS, Dohyung Lim, PhD, Gordon W.Nuber, MD, and Mohsen Makhssous, PhD "Muscle contribution to elbow joint valgus stability" J Shoulder elbow surg 2007; 16:795-802	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
John H.Udall, MD, Michael J.Fitzpatrick, MD, Michelle H.McGarry, MS, Thu-Ba Leba, MD, and Thay Q.Lee, PhD "Effects of flexor-pronator muscles loading on valgus stability of the elbow with an intact, stretched and resected medial ulnar collateral ligament" J Shoulder elbow surg (2009) 18, 773-778	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eyngendaal, G-J.Kleinrensenk, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies" The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Marc R.Safran, MD, and David Baillargeon, MD "Soft-tissue stabilizers of the elbow" J Shoulder elbow surg 2005; 14:179S-185S	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Vijaya Krishnamoorthy, John P.Scholz and Mark L.Latash "The use of flexible arm muscle synergies to perform an isometric stabilization task" Clin. Neurophysiol. 2007 March; 118(3): 525-537	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Albrecht Struppler, Bernhard Angerer, Christian Gundish and Peter Havel "Modulatory effect of repetitive peripheral magnetic stimulation on skeletal muscle tone in healthy subjects: stabilization of the elbow joint" Exp brain res (2004) 157:59-66	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Ilenia Bazzucchi, Msc, Paola Sbriccoli, PhD, Giulia Marzattinocci, Msc, and Francesco Felici, MD "Coactivation of the elbow antagonist muscles is not affected by the speed of movement in isokinetic exercise" Muscle Nerve 33:191-199, 2006	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Jess G. Alcid MD, Christopher S. Ahmad MD, Thay Q. Lee PhD "Elbow anatomy and structural biomechanics" Clin Sports Med 2004; 24:503-517	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Nowak TE, Mueller LP, Burkhart KJ, et al. "Dynamic biomechanical analysis of different olecranon fracture fixation devices Tension band wiring versus two intramedullary nail systems: an in vitro cadaveric study" Clin Biomech 2007; 22:658-664	Incluso perché contenente studi osservazionali Rilevanti dal punto di vista scientifico.
Treating low back pain: Alexander technique and exercise, antibiotics (!) and Paul Hodges on dynamic stability Khan KM Br J Sports Med. 2008 Dec; 42(12):939-40. No abstract available. PMID:19096016(PubMed – indexed for MEDLINE)	Escluso perché non reperibile.

DISCUSSIONE

La comprensione dei movimenti articolari individuali e combinati richiesti in funzioni delle attività della vita quotidiana e la conoscenza delle componenti che contribuiscono alla stabilità articolare del gomito, aprono questo studio di revisione. Margary Lockard in uno studio di biomeccanica clinica del gomito in vitro (1) riferisce che quando i muscoli bicipite, brachiale e tricipite si contraggono aiutano a prevenire la dislocazione con la produzione di forze di compressione comuni che determinano la stabilità articolare.

Le forze di compressione che agiscono sull'omero distale, sul processo coronoideo e sul capitello radiale sono state determinate durante massima flessione ed estensione isometrica del gomito.

È stato osservato che le forze di compressione durante la contrazione isometrica erano maggiori in posizione flessa e diminuivano in estensione.

Durante il sollevamento di un peso, tali forze trasmesse attraverso l'articolazione omero-ulnare, risultavano pari a circa tre volte il peso corporeo.

La direzione delle forze di compressione variava a seconda dell'angolo di flessione e della posizione del gomito.

Quando si verificava la contrazione in posizione estesa le forze erano dirette più anteriormente mentre quando si verificava la contrazione in posizione flessa le forze erano dirette posteriormente.

Morrey et al. (2) furono i primi ad esaminare il contributo dei muscoli per la stabilità dinamica in valgo del gomito, simulando la contrazione del bicipite, del brachiale e dei tricipiti in un modello di cadavere.

Il loro studio suggerisce che le forze congiunte di compressione prodotte da questi muscoli contribuiscono alla stabilità in valgo in un gomito con deficit del MCL.

In un altro studio degli stessi autori (2) condotto su cadavere il flessore ulnare del carpo (FCU) veniva

valutato come collaboratore per la stabilità dinamica in valgo del gomito grazie alla sua posizione ottimale, in linea con il legamento collaterale mediale ulnare.

Alcuni studi elettromiografici mostravano che lanciatori di baseball, con sintomi d'instabilità in valgo, diminuivano l'attività della massa dei muscoli flessori-pronatori, il che sottolinea un ruolo di questi muscoli nella stabilità dinamica.

Park e Ahmad (3) hanno condotto uno studio su sei cadaveri con simulazione della contrazione muscolare in modelli che presentavano deficit del legamento collaterale laterale ulnare. I loro risultati concordavano con quelli precedentemente citati, evidenziando il contributo fondamentale alla stabilità dinamica in valgo ad opera delle forze di compressione prodotte dalla contrazione del bicipite, del brachiale e del tricipite.

Tali studi riferivano anche che, simulando la contrazione singola del FCU o combinata con quella del flessore superficiale delle dita, venivano prodotti momenti in varo in grado di contribuire alla stabilità in valgo in un gomito con deficit del MCL.

Il flessore ulnare del carpo poteva essere considerato uno stabilizzatore dinamico primario del gomito.

Infatti le sue fibre sono intimamente collegate al legamento collaterale mediale.

La simulazione della contrazione del pronatore rotondo contribuiva in misura minore alla stabilità in valgo.

In generale la massa dei muscoli flessori-pronatori fornisce stabilità al gomito mediante l'azione diretta degli stessi con i vettori posizionati in modo ottimale per resistere alle forze in valgo.

Varo e PLRI conseguenti ad infortunio al legamento laterale del gomito causano una notevole disabilità funzionale.

Una gestione adeguata a proteggere i legamenti feriti previene l'instabilità.

A tale proposito viene citato lo studio condotto da Dunning et al. (4) sul ruolo della contrazione muscolare e del posizionamento articolare nello stabilizzare il gomito con deficit del legamento collaterale laterale e nella prevenzione dell'instabilità posterolaterale. Questo studio in vitro su cadavere, con simulazione della contrazione muscolare ha dimostrato che l'attività muscolare è un importante stabilizzatore posterolaterale del gomito.

Simulando la contrazione del brachiale, del brachioradiale, dei bicipiti e dei tricipiti si osservava un'azione atta a comprimere le superfici articolari, riducendo sublussazioni quando l'arto era in posizione verticale.

È stata osservata l'instabilità articolare anche in gomiti con deficit del legamento laterale con posizionamento in varo, verificando che pazienti con insufficienza del legamento laterale dovrebbero eseguire la flessione attiva del gomito ed esercizi di estensione ma dovrebbero evitare il posizionamento in abduzione e in rotazione interna per impedire l'apertura in varo del gomito, che comprometterebbe la guarigione del legamento.

I ricercatori hanno anche dimostrato che la posizione di pronazione dell'avambraccio stabilizza il gomito con deficit del legamento collaterale laterale durante la flessione ed estensione passiva del braccio in posizione verticale.

Secondo Giesel et al. (5) esistono stati di equilibrio stabili solo per le proprietà meccaniche dei muscoli e dello scheletro. I loro studi venivano condotti su un modello di gomito umano assumendo che l'attivazione dei muscoli flessori ed estensori sia costante e tale che l'angolo retto sia uno stato di equilibrio.

Essi fornivano anche un diagramma completo di biforcazione di tutti gli stati di equilibrio in funzione dell'angolo del gomito, dell'attivazione dei muscoli e della massa di un carico. Inoltre definivano un parametro del modello adimensionale che permetteva di determinare se vi fossero equilibri stabili ad un angolo di 90°.

Risultava che la dipendenza delle forze muscolari sulla lunghezza dei muscoli è il fattore determinante per la stabilità di tale equilibrio.

C. Bryce e D. Armstrong (6), nei loro studi di anatomia e biomeccanica del gomito, concordano nel definire la stabilità del gomito come un intreccio di vincoli statici e dinamici. Anch'essi, come altri autori, suddividono i vincoli statici in primari (articolazione ulno-omerale, fascio anteriore del legamento collaterale mediale e complesso del legamento collaterale) e secondari (articolazione radio-capitello, tendine flessore comune, tendine estensore comune e capsula).

I vincoli dinamici sono rappresentati dai muscoli del gomito suddivisi in quattro gruppi: flessori del gomito, estensori del gomito, flessori-pronatori dell'avambraccio, estensori dell'avambraccio.

Insieme con la spalla il gomito agisce per posizionare la mano nello spazio.

Rispetto alla spalla, che ha una vasta gamma di movimenti in tutti e tre gli assi di rotazione, l'intervallo di movimento del gomito è relativamente limitato.

Il range normale di movimento del gomito in flessione ed estensione è secondo gli autori approssimativamente 140°, con un intervallo di 130° richiesto per svolgere la maggior parte delle attività della vita quotidiana.

Una variazione dell'asse di flessione durante l'intervallo di movimento è spesso

descritto in termini di SDA (screw displacement axis) che definisce l'istantanea rotazione e la posizione dell'asse

durante tutto l'arco di flessione.

La SDA media è in linea con la porzione anteriore dell'epicondilo mediale, il centro della troclea e la proiezione del centro del capitello sul piano parasagittale.

Bryce ed Armstrong concludono che l'asse di flessione varia con la pronazione e la supinazione dell'avambraccio e in conseguenza di movimento attivo o passivo.

Lin Fang et al. (7) hanno condotto uno studio per identificare il contributo relativo di ciascun muscolo della FPM (flexor pronator mass) e della massa degli estensori-supinatori per la stabilità in

valgo a 45° e 90° di flessione del gomito.

I muscoli presi in esame sono stati per la FPM il flessore ulnare del carpo, il flessore superficiale delle dita, il flessore radiale del carpo, il pronatore rotondo.

Gli estensori-supinatori esaminati sono l'estensore ulnare del carpo, l'estensore comune delle dita, l'estensore radiale del carpo, lungo e breve, e il brachioradiale.

Per questo studio sono stati esaminati otto campioni congelati di gomito, ai quali è stata rimossa la pelle e il tessuto sottocutaneo lasciando intatti i muscoli.

Ogni singolo muscolo della FPM e degli estensori-supinatori è stato caricato a tre livelli di forza.

Durante il caricamento sono stati misurati simultaneamente lo sforzo del MUCL e la cinematica.

Le misurazioni cinematiche sono state ripetute successivamente con taglio del MUCL.

Per 45° di flessione del gomito, il singolo carico della FCU, FDS e FCR ha causato un significativo sollievo allo sforzo del MUCL, mentre il carico del PT non ha prodotto alcun cambiamento rilevante.

Inoltre, tra questi muscoli il contributo maggiore proveniva dalla FCU sia a 45° che a 90° di flessione.

Al contrario il caricamento della ECU a 45° di flessione produceva un notevole aumento dello sforzo del MUCL.

Tutti i muscoli della FPM causavano significativi movimenti in varo sia a 45° che a 90° quando caricati singolarmente.

L'ECU e l'EDC hanno prodotto movimenti rilevanti in valgo a 45° e 90° che divenivano tuttavia irrilevanti dopo il taglio del MUCL.

Pertanto Lin Fang e al. ritengono che la FCU, FDS e FCR siano i maggiori stabilizzatori dinamici del gomito.

In uno studio di ricerca condotto da John Udall et al. (8) vengono reperiti dati preziosi riguardo il contributo relativo dei singoli muscoli flessori-pronatori alla stabilità in valgo del gomito e riguardo l'influenza a tali contributi data dallo stato del MUCL.

L'FDS, il PT e FCU sono risultati essere tutti stabilizzatori attivi del gomito sottoposto a stress in valgo.

L'FDS era tra i muscoli flessori-pronatori quello che forniva il contributo maggiore.

In questo studio sono stati testati otto gomiti, quattro destri e quattro sinistri, appartenenti a cadaveri con età media al momento della morte di 74.5 anni.

I campioni consistevano nell'omero distale, l'avambraccio intero e il polso.

Al campione è stato unito un sistema di pulegge per simulare i carichi.

Il gomito è stato montato con l'asse dell'epicondilo perpendicolare al suolo, con il mediale rivolto verso l'alto e l'epicondilo laterale verso il basso.

Il raggio distale dell'avambraccio è stato fissato in modo da permettere i movimenti in varo-valgo mentre è stata fissata una piastra di metallo al radio distale e al secondo metacarpo.

Infine è stato esteso il polso per evitare la flessione del polso e l'estensione delle dita durante il caricamento dei tendini.

I carichi relativi a cui sono stati sottoposti i muscoli erano calcolati in base alla sezione trasversa dei muscoli stessi.

L'FDS, l'FCU e il PT sono stati caricati rispettivamente con 14.4N, 7.6N e 8.0N, pari ad un carico totale di 30N.

I campioni sono stati testati in sequenza con MUCL intatto, teso e tagliato.

Per ognuna di queste condizioni dei legamenti e per le differenti combinazioni dei carichi muscolari, è stato misurato l'angolo valgo.

Ne risultava che il caricamento del flessore-pronatore diminuiva notevolmente l'angolo valgo.

I risultati ottenuti da Udall confermavano quelli di Park et al.(3) secondo i quali l' FCU contribuisce in misura maggiore alla correzione di angolazione in valgo rispetto al FDS e al PT, grazie alla posizione vantaggiosa di questo muscolo, così come sostengono Davidson et al. (9) per i quali a 30°, 90° e 120° di flessione la FCU risulta avere un posizionamento sovrastante il MUCL, molto vantaggioso per la stabilità, mentre FCR e PT non si osservano mai in tale posizione e la FDS si sovrappone al MUCL a 30° e in maniera molto minore a 90° e 120°.

Questa posizione svantaggiosa del FDS rispetto al FCU potrebbe essere compensata, secondo Udall, dal potenziale delle fibre del FDS e in misura minore dal maggiore braccio di leva del FDS rispetto al FCU.

In un articolo pubblicato da J. De Haan et al. (10) vengono presi in esame una serie di studi in vitro di biomeccanica e anatomia del gomito tra i quali si rivela utile quello condotto da Dunning e al. (11) in merito al contributo della forza muscolare e della posizione dell'avambraccio per la stabilità del gomito con deficit del LCL.

Tale studio è stato effettuato su dieci arti superiori congelati, utilizzando un sistema di test che erano in grado di simulare movimenti attivi.

La porzione distale dei tre tendini flessori del gomito (bicipite, brachiale e brachiradiale), il principale estensore (tricipite) e il pronatore teres erano collegati a cavi in acciaio e potevano essere selettivamente e sequenzialmente caricati per generare il movimento desiderato.

Il LCL era diviso al suo inserimento nell'epicondilo laterale.

Ad ogni angolo di flessione del gomito la lassità in varo e valgo dell'ulna rispetto all'omero veniva calcolata.

Le estremità erano esaminate nelle seguenti posizioni: verticale, varo e valgo, orientamento gravità.

Con il braccio in varo e transezione del LCL è stata registrata instabilità articolare durante la flessione.

Con il braccio verticale e l'avambraccio in supinazione, dopo sezionamento del LCL, si verificava instabilità rotatoria rispetto ai valori ottenuti con l'avambraccio in pronazione e LCL intatto.

Pertanto la pronazione dell'avambraccio stabilizza il gomito con deficit LCL durante la flessione passiva con braccio verticale.

De Haan inoltre riferisce che lo stesso studio condotto da Dunning et al. è stato ripetuto da Armstrong et al. (12) in dieci arti superiori di cadaveri sezionando però il MCL (AMCL e PMCL) con lo scopo di generare instabilità in valgo del gomito. Dopo resezione del MCL, durante la flessione passiva, il gomito risultava stabile con supinazione dell'avambraccio piuttosto che in pronazione.

Ciò suggerisce che per la stabilità in valgo del gomito è necessaria una supinazione dell'avambraccio e per quella in varo una pronazione dello stesso.

Uno studio su dati forniti dalla letteratura riguardanti la funzione stabilizzatrice dei tessuti molli del gomito ad opera di Marc R. Safran et al. (13) fa riferimento a Morrey e An (14) e ai risultati ottenuti nell'esame dei muscoli mediali quali il pronatore rotondo, il flessore superficiale delle dita, il flessore ulnare del carpo e il flessore radiale del carpo.

Essi riportano che questi muscoli applicano un momento in varo al gomito e sono quindi in grado di resistere alle forze in valgo indipendentemente dalla rotazione o dal posizionamento dell'avambraccio.

Clinicamente le lesioni muscolari dei flessori-pronatori sono documentate in associazione a lesioni del UCL e frequentemente a sintomi da epicondilitis mediale.

Infatti il flessore ulnare del carpo e il flessore superficiale delle dita sono intimamente legati all'UCL tuttavia presentano uno svantaggio meccanico per resistere allo stress in valgo perché il loro braccio del momento è piccolo.

Nello stesso studio di Safran si fa inoltre riferimento alla simulazione della attività dei flessori-pronatori in relazione all'UCL condotta da Davidson et al. (15)

Essi riportavano che a 30°, 90° e 120° di flessione, il flessore radiale del carpo e il pronatore rotondo erano posizionati anteriormente all'UCL in tutti gli undici esemplari studiati.

L'UCL veniva in gran parte coperto direttamente dal flessore ulnare del carpo a 90° e 120°, mentre il flessore superficiale delle dita copre l'UCL a 90° di flessione del gomito.

Inoltre, approfondendo la ricerca con un'osservazione dell'attività muscolare durante le prestazioni dei lanciatori di baseball, si poteva notare una diminuzione del braccio della coppia del pronatore rotondo e del flessore radiale del carpo.

Quest'ultimo, insieme al flessore superficiale delle dita, risultava ottimamente posizionato per fornire un supporto secondario in valgo durante la prestazione dei lanciatori.

Successivamente viene riportata la ricerca condotta

da Hamilton et al. (16) sull'attività elettromiografica del gruppo dei flessori-pronatori di giocatori di baseball con instabilità in valgo.

Essi hanno mostrato che non vi era alcun aumento compensatorio nell'attività elettromiografica dei muscoli in esame, suggerendo che l'UCL non sia dinamicamente completato da questi muscoli.

Un altro punto di vista sull'attività muscolare nella stabilizzazione dell'articolazione del gomito ci viene fornito dallo studio che Vijaya Krishnamoorthy et al. (17) hanno condotto per osservare l'uso di sinergie muscolari flessibili per eseguire un compito isometrico di stabilizzazione.

Krishnamoorthy et al. hanno esaminato dieci soggetti sani, cinque uomini e cinque donne, di età media 26 anni, senza disturbi neurologici o motori, tutti con uso dominante della mano destra tranne uno.

L'attività elettromiografica di superficie è stata registrata tramite due elettrodi applicati sui ventri muscolari del flessore radiale del carpo, del flessore ulnare del carpo, dell'estensore radiale del carpo, del brachiradiale, del bicipite brachiale, del tricipite brachiale, del deltoide anteriore e del deltoide posteriore.

I soggetti dovevano spingere o tirare una maniglia.

In tutti i casi è stata registrata una coattivazione di uno o entrambi gli estensori del polso, (ECR, ECU), di uno o entrambi i flessori del gomito (BR, BB)

di uno o entrambi i flessori del polso (FCR, FCU) e dell'estensore del gomito.

Questo studio fornisce dati all'ipotesi che l'attività stabilizzatrice dei muscoli sia la conseguenza delle sinergie muscolari innescate dal sistema nervoso centrale.

Struppler et al. (18) hanno dimostrato l'attivazione a livello corticale studiando l'effetto modulatorio della stimolazione magnetica ripetitiva periferica (RPMS)

sul tono muscolare scheletrico in tredici soggetti sani.

La resistenza contro i movimenti passivi lenti nello stato rilassato veniva contemporaneamente registrata tramite elettromiografia per l'estensore dell'avambraccio e per i muscoli flessori.

Struppler et al. fanno inoltre riferimento agli esperimenti di Stinear e Byblow (19) nei quali sono state testate la via corticomotoria e spinale dell'estensore radiale del carpo e del flessore radiale del carpo durante la flessione-estensione del polso, bimanuale sincrona e asincrona.

I risultati di questi esperimenti indicavano che la modulazione dell'attività inibitoria degli antagonisti avveniva a livello corticale.

La coattivazione antagonista del gomito è stata presa in esame da Ilenia Bazzucchi e al. (20) in uno studio condotto su dodici soggetti con lo scopo specifico di confrontare l'attivazione antagonista dei flessori ed estensori del gomito durante un esercizio isocinetico concentrico.

La flessione e l'estensione sono state misurate con un dinamometro isocinetico.

I soggetti partecipanti all'esperimento erano seduti e stabilizzati dal petto alla vita tramite delle cinghie.

La parte superiore del braccio è stata posizionata parallelamente al tronco e l'avambraccio a metà tra pronazione e supinazione.

Al polso era fissato un manicotto imbottito attaccato alla cella di carico.

Il centro di rotazione della leva del braccio è stato allineato all'epicondilo laterale distale dell'omero. Per la registrazione elettromiografica sono stati applicati quattro elettrodi.

I segnali elettromiografici del bicipite brachiale e del tricipite brachiale sono stati registrati durante tre contrazioni volontarie isometriche (MVC) per 15°, 30°, 60°, 120°, 180° e 240°.

Durante la flessione del gomito l'attivazione antagonista del bicipite brachiale era in media del 16.2%, inferiore a quella del tricipite brachiale, pari al 26.0%.

Questa differenza risultava statisticamente significativa a tutte le velocità angolari.

La specializzazione funzionale dei due gruppi muscolari, flessori ed estensori, potrebbe essere responsabile per i diversi livelli di attivazione antagonista.

Il bicipite brachiale, di uso frequente nelle attività quotidiane non assistite, potrebbe portare a coattivazione ridotta a causa di un miglior funzionamento di controllo basato sulla reciproca innervazione.

Alcid, Ahmad e Lee (21) sostengono che tutti i muscoli del gomito generano forze congiunte atte a stabilizzare l'articolazione comprimendo le superfici articolari.

Clinicamente questo è evidente quando un paziente con una storia di lussazione del gomito si trova ad avere maggiore lassità, se esaminato in anestesia.

Studi teorici basati su sezioni trasversali dei muscoli del braccio mostrano che il tricipite, il bicipite e il brachiale forniscono la massima forza di compressione.

Alcid, Ahmad e Lee affermano che, grazie al loro orientamento e alla loro origine, i muscoli flessori-pronatori sono in grado di fornire un supporto dinamico alla stabilità in valgo del gomito.

In particolare, secondo gli autori, il flessore ulnare del carpo e porzioni del flessore superficiale delle dita si trovano direttamente sopra il fascio anteriore del legamento collaterale ulnare mediale.

Gli studi elettromiografici da essi riportati confermano tali conclusioni mostrando massima attività per il gruppo dei muscoli flessori-pronatori, mentre la parte laterale del gomito è staticamente e dinamicamente stabilizzata dal gruppo dei muscoli estensori-supinatori.

Riferimenti riguardanti l'effetto stabilizzatore dinamico ad opera delle forze di compressione generate dai muscoli del gomito si possono trovare anche negli

studi di analisi biomeccanica dinamica di differenti fratture dell'olecrano condotti da Nowak et al. (22).

Tabella 3 – Sintesi dei risultati degli articoli

STRESS	STRUTTURE MUSCOLARI	AUTORI
Stress in varo	Estensori – Supinatori: Estensore ulnare del carpo; Estensore radiale del carpo	Jess G. Alcid MD, Christopher S. Ahmad MD, Thay Q. Lee PhD Jess G. Alcid MD, Christopher S. Ahmad MD, Thay Q. Lee PhD Ilenia Bazzucchi, Msc, Paola Sbriccoli, PhD, Giulia Marzattinocci, Msc, and Francesco Felici, MD
Stress in valgo	Flessori – Pronatori: Flessore superficiale delle dita; Flessore ulnare del carpo; Pronatore rotondo; Bicipite; Bracchiale; Tricipite.	Nowak TE, Mueller LP, Burkhart KJ, et al Jess G. Alcid MD, Christopher S. Ahmad MD, Thay Q. Lee PhD Ilenia Bazzucchi, Msc, Paola Sbriccoli, PhD, Giulia Marzattinocci, Msc, and Francesco Felici, MD Albrecht Struppler, Bernhard Angerer, Christian Gundish and Peter Havel Vijaya Krishnamoorthy, John P.Scholz and Mark L.Latash Marc R.Safran, MD, and David Baillargeon, MD J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eygendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog John H.Udall, MD, Michael J.Fitzpatrick, MD, Michelle H.McGarry, MS, Thu-Ba Leba, MD, and Thay Q.Lee, PhD Lin Fang, Dsc, Navjot Kohli, MD, Sam Perlmutter, BS, Dohyung Lim, PhD, Gordon W.Nuber, MD, and Mohsen Makhsous, PhD Chris D.Bryce,MD, April D.Armstrong, Bsc(PT), MD, MSc, FRCSC Peter Giesel, Dorothea Meisel, Jurgen Scheurle, Heiko Wagner Park MC, Ahmad CS Margary Lockard, PT, PhD

CONCLUSIONI

Il gomito è un collegamento fondamentale nell'arto superiore poiché contribuisce significativamente all'uso funzionale della mano nella maggior parte delle nostre attività quotidiane.

Sebbene il gomito appaia come un semplice collegamento tra la spalla e la mano, un attento studio della biomeccanica e dell'anatomia rivela un'architettura ben più complessa.

Il suo elaborato design permette a questa articolazione di funzionare efficacemente come collegamento mobile per attività come raggiungere e mangiare e la sua stabilità consente di sostenere attività sotto carico come alzarsi da una sedia sospingendosi con le mani o camminare con le stampelle.

Gli studi di biomeccanica hanno contribuito notevolmente alla nostra comprensione riguardo il movimento del gomito, le forze in gioco e i fattori stabilizzatori dell'articolazione.

Vincoli statici e dinamici si intrecciano per proteggere il gomito.

Gli stabilizzatori dinamici sono rappresentati dai muscoli che attraversano l'articolazione del gomito.

I muscoli del braccio e dell'avambraccio stabilizzano il gomito durante i movimenti di flessione-estensione, varo-valgo, compensano lesioni o traumi a carico degli elementi stabilizzatori statici.

Tra i muscoli flessori-pronatori il FDS, in ragione della sua massa relativa, e il FCU, in ragione del suo ottimale posizionamento, sono i maggiori stabilizzatori attivi del gomito allo stress in valgo.

Per quanto riguarda la rilevanza funzionale di stabilizzazione dell'articolazione del gomito, si deve considerare che i muscoli flessori ed estensori dell'avambraccio sono facilitati o inibiti a seconda del condizionamento RPMS.

Ciò significa che RPMS modula la stabilizzazione del gomito probabilmente a livello corticale in maniera adeguatamente corrispondente ai compiti motori previsti:

attività motorie quali la manipolazione, indicare, afferrare necessitano di una stabilizzazione maggiore del gomito;

attività motorie dirette necessitano una diminuzione della stabilizzazione del gomito per facilitare i movimenti.

Ogni muscolo del gomito agisce come stabilizzatore dinamico per mezzo di forze di compressione.

Il sistema nervoso centrale, inoltre, forma sinergie muscolari atte a stabilizzare l'articolazione del gomito.

Tutte queste evidenze scientifiche risultano essere di notevole importanza nell'individuazione di programmi di prevenzione e riabilitazione efficaci in casi di instabilità articolare del gomito.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Margary Lockard, PT, PhD
"Clinical biomechanics of the elbow"
J HAN THER. 2006; 19:72-81
- (2) Morrey BF, Tanaka S, An KN.
"Valgus stability of the elbow: a definition of primary and secondary constraints"
Clin Orthop 1991; 265:187-95 cit. in Margary Lockard, PT, PhD
"Clinical biomechanics of the elbow"
J HAN THER. 2006; 19:72-81
- (3) Park MC, Ahmad CS
"Dynamics contributions of the flexor-pronator mass to elbow valgus stability"
J Bone Joint Surg 2004; 86A:2268-74
- (4) Dunning CE, Zarzour ZD, Patterson SD, et al.
"Muscle forces and pronation stabilize the lateral ligament deficient elbow"
Cli Orthop 2001; 388:118-24 cit. in Margary Lockard, PT, PhD
"Clinical biomechanics of the elbow"
J HAN THER. 2006; 19:72-81
- (5) Peter Giesel, Dorothea Meisel, Jurgen Scheurle, Heiko Wagner
"Stability analysis of the elbow with a load"
Journal of theoretical biology 228 (2004) 115-125
- (6) Chris D.Bryce,MD, April D.Armstrong, Bsc(PT), MD, MSc, FRCSC
"Anatomy and biomechanics of the elbow"
ORTHOP CLIN. N Am 39 (2008) 141-154
- (7) Lin Fang, Dsc, Navjot Kohli, MD, Sam Perlmutter, BS, Dohyung Lim, PhD,
Gordon W.Nuber, MD, and Mohsen Makhsous, PhD
"Muscle contribution to elbow joint valgus stability"
J Shoulder elbow surg 2007; 16:795-802
- (8) John H.Udall, MD, Michael J.Fitzpatrick, MD, Michelle H.McGarry, MS,
Thu-Ba Leba, MD, and Thay Q.Lee, PhD
"Effects of flexor-pronator muscles loading on valgus stability of the elbow
with an intact, stretched and resected medial ulnar collateral ligament"
J Shoulder elbow surg (2009) 18, 773-778

- (9) Davidson PA, Pink M, Perry J, et al.
 "Functional anatomy of the flexor-pronator muscle group in relation to the medial collateral ligament of the elbow"
 Am J Sports Med 1996; 24:177-81 cit. in John H.Udall, MD, Michael J.Fitzpatrick, MD, Michelle H.McGarry, MS, Thu-Ba Leba, MD, and Thay Q.Lee, PhD
 "Effects of flexor-pronator muscles loading on valgus stability of the elbow with an intact, stretched and resected medial ulnar collateral ligament"
 J Shoulder elbow surg (2009) 18, 773-778

- (10) J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eygendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog
 "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies"
 The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176

- (11) Dunning CE, Duck TR, King GJ, Johnson JA
 "Simulated active control produces repeatable motion pathways of the elbow in an *in vitro* testing system"
 J Biomech 2001; 34(8):1039-48 cit. in J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eygendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog
 "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies"
 The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176

- (12) Armstrong AD, Dunning CE, Faber KJ, Duck TR, Johnson JA, King GJ
 "Rehabilitation of the medial collateral ligament-deficient elbow: an in vitro biomechanical study"
 J Hand Surg Am 2000; 25(6):1051-7 cit. in J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eygendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog
 "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies"
 The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176

- (13) Marc R.Safran, MD, and David Baillargeon, MD
 "Soft-tissue stabilizers of the elbow"
 J Shoulder elbow surg 2005; 14:179S-185S

- (14) Morrey BF, An KN
 "Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint"
 Am J Sports Med 1983; 11:315-9 cit. in J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eygendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog
 "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies"
 The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176

- (15) Davidson PA, Pink M, Perry J, Jobe FW
 "Functional anatomy of the flexor-pronator muscle group in relation to the medial collateral ligament of the elbow"
 Am J Sports Med 1995; 23:245-50 cit. in J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eygendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog
 "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies"
 The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176
- (16) Hamilton CD, Glousman RE, Jobe FW, et al.
 "Dynamic stability of the elbow: electromiographic analysis of the flexor-pronator group and the extensor group in pitchers with valgus instability"
 J Shoulder Elbow Surg 1996; 5:347-54 cit. in J.De Haan, N.W.L. Schep, D.Eygendaal, G-J.Kleinrensik, W.E.Tuinebreijer and D.Den Hartog
 "Stability of the elbow joint: relevant anatomy and clinical implications of in vitro biomechanical studies"
 The open orthopaedics journal, 2011, 5, 168-176
- (17) Vijaya Krishnamoorthy, John P.Scholz and Mark L.Latash
 "The use of flexible arm muscle synergies to perform an isometric stabilization task"
 Clin. Neurophysiol. 2007 March; 118(3): 525-537
- (18) Albrecht Struppler, Bernhard Angerer, Christian Gundish and Peter Havel
 "Modulatory effect of repetitive peripheral magnetic stimulation on skeletal muscle tone in healthy subjects: stabilization of the elbow joint"
 Exp brain res (2004) 157:59-66
- (19) Stinear JW, Byblow WD
 "Disinhibition in the human motor cortex is enhanced by synchronous upper limb movements"
 J Physiol 2002; 543:307-316 cit. in Albrecht Struppler, Bernhard Angerer, Christian Gundish and Peter Havel
 "Modulatory effect of repetitive peripheral magnetic stimulation on skeletal muscle tone in healthy subjects: stabilization of the elbow joint"
 Exp brain res (2004) 157:59-66
- (20) Ilenia Bazzucchi, Msc, Paola Sbriccoli, PhD, Giulia Marzattinocci, Msc, and Francesco Felici, MD
 "Coactivation of the elbow antagonist muscles is not affected by the speed of movement in isokinetic exercise"
 Muscle Nerve 33:191-199, 2006
- (21) Jess G. Alcid MD, Christopher S. Ahmad MD, Thay Q. Lee PhD
 "Elbow anatomy and structural biomechanics"
 Clin Sports Med 2004; 24:503-517
- (22) Nowak TE, Mueller LP, Burkhart KJ, et al.
 "Dynamic biomechanical analysis of different olecranon fracture fixation devices
 Tension band wiring versus two intramedullary nail systems: an in vitro

cadaveric study"
Clin Biomech 2007; 22:658-664