

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA
MASTER DI I LIVELLO :
RIABILITAZIONE DEI DISORDINI MUSCOLOSCHELETRICI

**INNER UNIT: REVISIONE DEGLI ASPETTI BIOMECCANICI
INNOVATIVI DEGLI STABILIZZATORI LOCALI.**

**REVISIONE DELLA LETTERATURA PER EVIDENZIARE IL
COINVOLGIMENTO DI NUOVE COMPONENTI MUSCOLARI NEL
SISTEMA DEGLI STABILIZZATORI LOCALI.
CON INTERESSE PARTICOLARE
ALLE FIBRE PROFONDE MEDIALI DELLA PSOAS,
ALLE FIBRE MEDIALI DEL QUADRATO DEI LOMBI,
ALLE FIBRE POSTERIORI DELL'OBLIQUO INTERNO.**

Relatore:
Dr Andrea Turolla

Specializzando:
Edoardo Scalfi

Anno Accademico 2006-2007

INDICE

ABSTRACT

TESI

1. <u>INTRODUZIONE</u>	pg 5
A. <u>THEORY OF STABILITY</u>	pg 7
B. <u>MUSCULAR ACTIVATION</u>	pg 9
2. <u>MATERIALE E METODI</u>	pg 14
3. <u>RISULTATI</u>	pg 15
4. <u>NUOVE COMPONENTI MUSCOLARI</u>	pg 17
A. <u>OBLIQUO INTERNO</u>	pg 17
B. <u>QUADRATO DEI LOMBI</u>	pg 21
C. <u>ILEOPSOAS</u>	pg 26
5. <u>DISCUSSIONE</u>	pg 31
6. <u>CONCLUSIONI</u>	pg 37
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	pg 38

ABSTRACT:

Lo studio dei fattori che influenzano i meccanismi di stabilizzazione lombare è uno dei temi che la ricerca affronta da circa trent'anni. Il panorama di studio è ampio e complesso per la stretta interdipendenza dei diversi elementi che condizionano la struttura della colonna vertebrale. Le più recenti acquisizioni tuttavia attribuiscono alla componente muscolare, e quindi agli esercizi di stabilizzazione attiva, un ruolo di fondamentale importanza per la riabilitazione nel low back pain (LBP).

Lo scopo di questo lavoro è quello di affrontare, alla luce delle più recenti pubblicazioni, il ruolo di nuove componenti muscolari (quadrato dei lombi, ileopsoas, obliquo interno) nel sistema degli stabilizzatori locali.

La ricerca degli articoli, limitata a pubblicazioni in lingua inglese, è stata condotta su database elettronici utilizzando come key words: "low back pain", "lumbar stabilization", "musc* activation" ed inserendo nello specifico ogni singolo muscolo che si affronta : "psoas", "quadratus lumborum" e "obliquus interni". Gli articoli trovati sono poi integrati con i riferimenti bibliografici degli stessi.

Dalla revisione della letteratura risulta quindi possibile parlare di una partecipazione di questi muscoli nella stabilizzazione locale della colonna lombare.

Tuttavia se a livello emg ed ecografico è stata osservata un'oggettiva attivazione dell'obliquo interno in relazione all'attività del trasverso dell'addome, e quindi secondo pattern motori tipici

degli stabilizzatori locali, l'azione del quadrato dei lombi e dello psoas è meno specifica. Le caratteristiche anatomico-strutturali di questi muscoli (con le loro inserzioni sulla fascia e sulla colonna) e il loro reclutamento testimoniano però la loro possibile partecipazione in tale attività.

1) INTRODUZIONE

Il Low Back Pain (LBP) rappresenta la maggiore causa di dolore, disabilità e costo sociale nella società industrializzata (Atlas SJ e Nardin RA, 2003). Questa problematica si manifesta con un tasso d'incidenza del 25% (Anderson GBJ, 1997) ed interessa, nell'arco della vita, la quasi totalità della popolazione (Leboeuf-Yde C e Lauritsen JM, 1995; Cassidy JD et al, 1998; Anderson GBJ, 1999). Partendo da questo presupposto nel corso degli anni si è assistito ad un grande sforzo della ricerca per approfondire l'argomento.

Lo studio dei fattori che condizionano la stabilizzazione della colonna lombare e le metodiche di trattamento del LBP sono quindi una delle principali tematiche di ricerca da oltre 30 anni. Il distretto lombo-pelvico, è sottoposto a forze di taglio e carichi di notevole intensità; inoltre è un sistema che presenta ampi gradi di movimento risultando per questo notevolmente soggetto ad alterazioni strutturali. Per questo motivo le recenti teorie attribuiscono alla componente muscolare un ruolo di fondamentale importanza; la contrazione infatti permette di creare un aumento della stabilità tale da garantire il sostegno ai carichi che gravano sulla colonna nelle attività quotidiane. È stato infatti dimostrato che un deficit di reclutamento o un alterato timing d'attivazione muscolare è alla base di numerose problematiche lombari.

Per questo motivo i percorsi riabilitativi sono fondati su training di stabilizzazione con il proposito di rendere più efficiente l'attivazione della muscolatura specifica e l'intensità della forza da essa generata.

Come per ogni programma riabilitativo, gli autori insistono sulla necessità di elaborare un programma specifico per ogni singolo paziente così da intervenire sulla struttura alla base del disturbo.

Per garantire un approccio di questo tipo si rende però, necessaria un'adeguata conoscenza dei meccanismi di stabilizzazione della colonna, condizione che allo stato attuale è ancora in divenire. Il distretto coxo-lombo-pelvico, infatti, è dotato di ampi gradi di libertà su ogni piano ed è attraversato da un elevato numero di muscoli tra loro interconnessi da un complesso sistema miofasciale. Ne deriva quindi un'elevata complessità intrinseca, che si traduce in pattern di stabilizzazione che coinvolgono più strutture. Accanto al ruolo dei muscoli più profondi della Inner Unit (trasverso dell'addome, multifido, diaframma e pavimento pelvico), quindi, si cerca oggi di approfondire il ruolo di altre componenti muscolari che possano partecipare nel garantire la stabilità della colonna lombare.

Nello specifico, questo lavoro si pone l'obiettivo di fare una revisione dello stato dell'arte su tale argomento, esaminando il ruolo dello psoas, del quadrato dei lombi e dell'obliquo interno.

1.a) LA STABILITA' LOMBARE

Fin dagli anni settanta si è iniziato a parlare di modelli di stabilità della colonna lombare focalizzando l'attenzione sulle diverse componenti biomeccaniche.

Inizialmente il modello tradizionale considerava, come unità strutturale unicamente responsabile della stabilità lombare, il disco, i legamenti intervertebrali e gli elementi ossei (Whyte and Panjabi 1978).

Studi in vitro, però, hanno dimostrato l'incapacità da parte di queste strutture isolate di sostenere i normali carichi fisiologici della colonna lombare. (Lucas e Bresler 1961, e poi Crisco 1989) dimostrando una differenza dell'ordine di almeno 65 volte nella tolleranza al carico. Nei loro studi in vitro, i ricercatori hanno infatti evidenziato che erano sufficienti carichi dai 20 ai 90 N per generare alterazioni strutturali al sistema osteolegamentoso. Tale dato risulta incompatibile con la quotidianità; in cui la colonna sopporta carichi tra 6000 e 18000 N.

Partendo da tali presupposti Panjabi (1992) ha proposto un modello concettuale in grado di prendere in considerazione tutte le componenti che partecipano alla stabilità lombare evidenziando la stretta correlazione con cui sono in rapporto.

In questo modello, egli descrive tre sistemi: passivo, attivo e di controllo.

Il sistema passivo è composto dalle strutture osteo-artro-legamentose,

quello attivo dai tessuti miofasciali che trasmettono le forze di compressione alla struttura,

mentre quello di controllo (sistema nervoso centrale) ne coordina le azioni.

Grazie a tale modello il concetto di stabilità della colonna ha subito un'importante revisione.

Infatti mentre in precedenza il concetto di instabilità veniva identificato con quello di lassità legamentosa; con questo nuovo modello la stabilità viene posta in stretta correlazione al sistema muscolare (sistema attivo) e al suo corretto reclutamento (sistema di controllo).



Fig1 Modello concettuale di Panjabi (1992a)

In accordo con quanto detto in un secondo lavoro del 1992 (b), l'autore propone un modello di stabilizzazione lombare che distingue una duplice proprietà di stiffness (rigidità-stabilità) lungo il rom. Viene quindi postulato il concetto di Neutral zone (NZ) e elastic zone (EZ). Tali zone presentano comportamenti diversi.

La NZ, che teoricamente coincide con la posizione neutra della colonna è caratterizzata da un movimento di piccola ampiezza, o lassità spinale. È sotto il controllo della sola attività muscolare e in condizioni di riposo gode quindi di una stiffness molto bassa che invece aumenta man a mano che ci si avvicina alla EZ per la tensione delle strutture osteo-mio-fasciali.

Studi successivi hanno riscontrato un aumento dell'ampiezza della NZ in relazione a lesione, degenerazione articolare e/o deficit della muscolatura stabilizzante dimostrando anche una stretta correlazione con episodi di LBP (Oxland and Panjabi,1992)

Riassumendo, il modello di Panjabi rappresenta quindi una sostanziale inversione di tendenza in ambito concettuale. Il sistema di stabilizzazione passa da un modello prettamente incentrato sulla componente osteolegamentosa ad uno in cui quella muscolare ha un ruolo di notevole importanza. In esso infatti l'attivazione dei muscoli e la loro attività è alla base del concetto di stabilità.

1.b) LA COMPONENTE MUSCOLARE

Il segmento coxo-lombo-pelvico è caratterizzato da un impegnativo sistema biomeccanico. Esso rappresenta il nodo attraverso cui si trasmette il peso della parte superiore del corpo fino ai piedi. La presenza di numerose articolazioni con ampi gradi di libertà rendono questa struttura particolarmente instabile e richiedono un ben organizzato sistema di controllo.

In termini pratici questo significa che la colonna lombare affida la sua stabilità ai muscoli che supportano attivamente quest'area, in accordo con quanto trattato a proposito del modello di Panjabi.

Tutti i muscoli presenti in questo distretto partecipano quindi in diversa maniera alla modulazione della stabilità.

Considerando il sistema lombo-pelvico come una struttura cilindrica il ruolo fondamentale è assegnato ai muscoli che avvolgono tale struttura in tutte le sue direzioni. Per tale motivo l'attenzione è stata posta su: il pavimento pelvico, il diaframma, il trasverso dell'addome e il multifido.

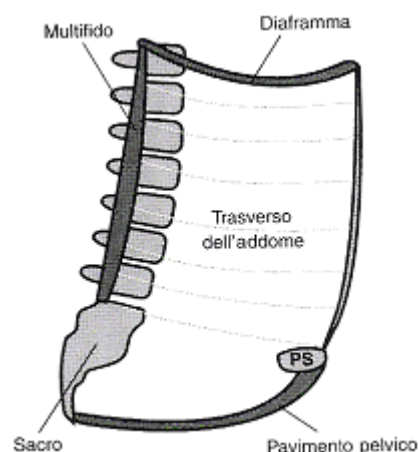


Fig. I muscoli dell'Unità Interna: Multifido, Diaframma, Trasverso , Pavimento Pelvico (Panjabi)

Come già detto, per stabilizzare questo complesso sistema la componente muscolare agisce generando un aumento della stiffness. Questo viene ottenuto con diversi meccanismi:

l'inserzione intersegmentale degli stabilizzatori locali;

il tensionamento della fascia toraco-lombare e

l'aumento della pressione intra-addominale

Allo stato attuale, la letteratura tende ad attribuire un ruolo di particolare importanza agli stabilizzatori locali, la cui definizione è stata data da Comerford e Mottram (2001a e 2001b).

Questi muscoli esplicano la loro azione a livello locale, generando un aumento della stiffness muscolare per controllo segmentale. La loro attivazione, di tipo tonico, è indipendente dalla direzione del movimento e non crea variazioni nel ROM articolare, ma ne stabilizza e controlla la zona neutra.

Nel caso specifico assumono un ruolo di notevole importanza il trasverso dell'addome e il multifido. Entrambi questi muscoli sono oggetto della letteratura in particolar modo perché la loro azione viene allenata nei training riabilitativi. In numerosi lavori, così, si è analizzato questi muscoli non solo da un punto di vista anatomico ma anche biomeccanico ed istologico dimostrando come presentino le caratteristiche specifiche degli stabilizzatori. (David 2006, Hides 2006, Hodges 1999)

Anche il pavimento pelvico e il diaframma sono una componente fondamentale per la stabilità in questo distretto. Collaborando con il trasverso e il multifido, attraverso pattern di attivazione specifici, questi muscoli agiscono aumentando la pressione intra-addominale (IAP) e garantendo quindi una maggior stabilità al sistema. Questo

meccanismo fornisce un elemento di supporto all'intera area lombare. Una contrazione del pavimento pelvico, del trasverso dell'addome e dei muscoli della colonna lombare aumenta la IAP, che in risposta, esercita una forza elastica sulla guaina del retto addominale (RA). Questa guaina avvolge il retto addominale e si collega ai muscoli obliqui interni ed al TrA, circondando l'addome. Questo "sacco d'aria" riduce la compressione e distribuisce le forze che agiscono sulla colonna.

La ricerca mostra che la IAP aumenta prima e durante esercizi di sollevamento ed anche durante la corsa, avvallando l'idea che essa giochi un ruolo cruciale nella stabilità lombare.(Hagins, 2006)

Infine anche la fascia toraco lombare (FTL) è importante al fine di fornire un supporto elastico alla zona lombare attraverso la collaborazione con i muscoli profondi del tronco.

Infatti, il trasverso dell'addome (TrA) e i muscoli obliqui interni (OI) si connettono entrambi alla FTL. Questa fascia avvolge la colonna, collegando ad essa i muscoli profondi del tronco. Quando il TrA si contrae, aumenta la tensione sulla FTL che in risposta trasmette una forza di compressione alla colonna lombare, aumentandone la stabilità. Inoltre l'aumento della tensione della FTL, comprime i muscoli di quel distretto, incoraggiando questi alla contrazione ed a resistere alle forze di flessione sulla colonna.

La complessità di un sistema come quello coxo-lombo-pelvico con grande libertà di movimento è sottoposto a meccanismi di stabilizzazione molto raffinati. La ricerca è ancora impegnata nell'affrontare un'eventuale partecipazione di altre componenti muscolari nel meccanismo di stabilizzazione.

Di particolare interesse sono il ruolo dello psoas, del quadrato dei lombi e dell'obliquo interno. Questi muscoli, posti in profondità presentano caratteristiche particolari: connessioni con la colonna o la fascia toracolumbare e in certi casi un'attività tonica e indipendente dalla direzione del movimento. Lo stato dell'arte a tutt'oggi però non ha ancora ben definito come queste strutture partecipino all'equilibrio di questo distretto. Lo scopo di questo lavoro è quindi quello di revisionare la letteratura a disposizione per poter dare una visione quanto più completa possibile della muscolatura limitrofa alla inner unit.

2) MATERIALI E METODI

Il materiale di questo studio deriva da una selezione di articoli di letteratura scientifica in lingua inglese che sono stati pubblicati nel periodo 1994-2008. La ricerca degli articoli è stata condotta su database elettronici:

MEDLINE,

PEDRO,

COCHRANE LYBRARY e

E-MEDICINE,.

La ricerca, dagli abstract, ha utilizzato diverse combinazioni delle seguenti key words: “low back pain”, “lumbar stabilization”, “muscle activation” ed inserendo nello specifico ogni singolo muscolo che si affronta : “psoas”, “quadratus lumborum” e “obliquus interni”.

Sono stati utilizzati anche articoli presenti in bibliografia delle pubblicazioni prese in considerazione e il materiale presentato al “4th. Interdisciplinary World Congress on low back and pelvic pain” tenutosi a Montreal nel 2001.

3) RISULTATI

Al termine della ricerca sono state raccolte 29 pubblicazioni integrate con il materiale del 4th. Interdisciplinary World Congress on low back and pelvic pain. Questo numero rappresenta il risultato definitivo della selezione attuata.

Gli articoli estrapolati ottenuti dalla ricerca sono stati infatti sottoposti a selezione manuale a partire dagli abstract e quindi catalogati in una tabella in funzione della pertinenza con cui affrontavano l'argomento di ogni singolo muscolo.

Di questi lavori ben 14 parlano in maniera approfondita della muscolatura addominale con svariati riferimenti all'obliquo interno; solo 8 affrontano il ruolo del quadrato dei lombi mentre in altri 13 articoli e nel materiale del congresso di Montreal si prende in particolare considerazione le caratteristiche del muscolo psoas.

Tabella: caratteristiche delle pubblicazioni raccolte.

Autore	anno	Rivista di pubblicazione	Tipo di studio	Obliquo interno	Quadrato dei lombi	psoas
Barr	2005	Am J Phys Med Rehabil	Review	X	X	X
Jemmett	2004	Man Ther	St.Anatomia		X	X
Hodges	1999	Man Ther	Review	X		
Urquhart	2005b	Gait Posture	Studio caso controllo	X		
Mannion	2008	Eur Spine J.	Studio caso controllo	X		
Urquhart	2005°	Clin Biomech (Bristol, Avon)	St.anatomico			
Filho	2006	Electromyogr Clin Neurophysio	Studio caso controllo	X		
Grenier et al	2007	Arch Phys Med Rehabil	Studio caso controllo	X		
Hodges et al	1997	Phys Ther	Studio di coorte (sani)	X		
Snijders	1998	J Electromyogr Kinesiolog	Studio di coorte (sani)	X		X
Thomas	2007	Spine.	Studio di coorte (LBPpt)	X		

Dankaerts	2006	Spine.	Studio di coorte (LBPpt)	X		
Ferriera	2004	Spine.	Studio di coorte (LBPpt)	X		
Stevens	2007	Man Ther	Studio di coorte (sani)	X		
Cynn	2006	Arch Phys Med Rehabil	Studio di coorte (sani)	X	X	
Philips	2008	Proc Inst Mech Eng .	Biomech study		X	
Andersson	1996	Clin Biomech (Bristol, Avon)	Studio di coorte (sani)		X	X
Delp	2001	J Biomech.	St anatomico		X	
McGill	1996	Clin Biomech (Bristol, Avon)	Studio di coorte (sani)		X	
Barker	2004	Spine.	Studio di coorte (LBPpt)			X
Penning	2002	Eur Spine J.	Review			X
Yoshio	2002	J Orthop Sci.	Biomech study			X
Penning	2000	Eur Spine J.	Review			X
Danneels	2000	Eur Spine J.	St ctrl			X
Quint	1998	Spine.	Anatomical study			X
Santaguida	1995	J Biomech.	Anatomic study			X
Reid	1994	Arch Phys Med Rehabil	Anatomical study			X
Barker	2007	Eur Spine J.	Anatomical study	X	X	X
Gibbons	2001	4th congress....	Review			X

4) NUOVE COMPONENTI MUSCOLARI

Qui di seguito verrà analizzato ogni singolo muscolo separatamente; approfondendo la struttura anatomica, le connessioni con il sistema mio-fasciale e, basandosi su indagini elettromiografiche ed ecografiche, l'attivazione funzionale specifica.

4.a) OBLIQUO INTERNO

Dal punto di vista anatomico l'obliquo interno è un muscolo che presenta una complessità intrinseca.

Costituisce lo strato profondo della parete anterolaterale dell'addome; si trova, infatti, al di sotto dell'obliquo esterno. Prende origine dalla linea intermedia della spina iliaca anterosuperiore e dal foglietto profondo della fascia toracolumbare (posteriormente). Alcune fibre possono originare anche dal terzo laterale del legamento inguinale (anteriormente). Le fibre muscolari seguono un decorso ascendente (a ventaglio) e si inseriscono in tre zone distinte dividendo il muscolo in tre parti: craniale, mediale e caudale.

La parte craniale si inserisce al margine inferiore delle ultime tre cartilagini costali; la parte mediale continua in una fascia fibrosa formando l'aponeurosi del muscolo obliquo interno che dopo essersi divisa in due foglietti (interno ed esterno) si unisce alla linea alba contribuendo alla formazione della guaina dei muscoli retti dell'addome.

La parte inferiore dell'aponeurosi forma, insieme a quella del muscolo trasverso dell'addome, il tendine congiunto, che si

inserisce al margine superiore del pube, al tubercolo pubico e al margine mediale della cresta pettinea (“anatomia Umana. Balboni et al. Da edi-ermes 2004).

Sul piano funzionale le sue connessioni fanno sì che il muscolo partecipi al movimento del segmento lombopelvico sia attraverso il ruolo di mobilizzatore attivo (la sua contrazione abbassa le coste agendo da muscolo espiratorio, flette e inclina lateralmente il torace e porta ad una rotazione omolaterale del tronco) sia attraverso il ruolo di stabilizzatore locale.

L'effetto stabilizzante sulla colonna lombare è ben testimoniato da un recente studio di Urquhart (2005). Attraverso un'analisi anatomica della morfologia regionale dei muscoli addominali, l'autore mette in evidenza come l'OI presenti delle caratteristiche che supportano questa teoria.

Urquhart evidenzia come l'inserzione del muscolo sul fascio medio della FTL e sui processi spinosi della zona lombare sia in grado di produrre un aumento della stiffness e della rigidità sul segmento lombare garantendone la stabilità.

La direzione dei fasci della porzione caudale, con andamento orizzontale e leggermente inferomediale, inoltre, avrebbe efficacia nella compressione dell'articolazione sacroiliaca.

Anche la lunghezza ridotta dei fasci muscolari nella porzione caudale, più adatta al sostegno di contrazioni isometriche, sarebbe in grado di controllare meglio la neutral zone articolare.

Infine la scoperta dell'esistenza di due strati distinti all'interno della componente caudale dell'OI, strati con differente sito di inserzione,

sembrerebbe poter attribuire ad una di queste due componenti un ruolo più specifico nella stabilizzazione.

Questi dati puramente anatomici trovano conferma in numerosi lavori che affrontano l'attività del muscolo.

La sua attività di stabilizzatore, infatti, risulta evidente da numerose registrazioni elettromiografiche. In esse, l'OI è sempre attivo in stazione eretta e da seduto (Snijders 1993,1995). La funzione attribuitagli è principalmente la stabilizzazione dell'articolazione sacroiliaca come conferma la fase di silenzio elettromiografico in condizioni di particolare sgravo della stessa (riposo su una gamba sola –la controlaterale-, nella retroversione del bacino o con l'uso di una cintura pelvica) (Snijders 1999)

In altri studi tuttavia il comportamento dell'obliquo interno viene accostato a quello del trasverso dell'addome. Tale intuizione era stata già proposta da Hodges nel 1999 e trova poi conferma in Grenier et Mc Gill (2007)

Questo risulta evidente dall'analisi elettromiografica dei muscoli addominali in diverse richieste: specifiche per la parete addominale o per la stabilizzazione della colonna in attività degli arti.

Anche Urquhart (2005) nello studio già menzionato, proponendo compiti mirati al reclutamento della muscolatura addominale, osserva come le richieste più specifiche per il TrA siano accompagnate da un analogo reclutamento dell'OI o perlomeno della sua componente inferiore. Osserva ciò nell'esercizio di "inward movement of the lower abdominal wall" dove il

reclutamento muscolare non provoca movimento a carico dei segmenti ossei ed ha quindi particolare significato nell'incrementare la IAP.

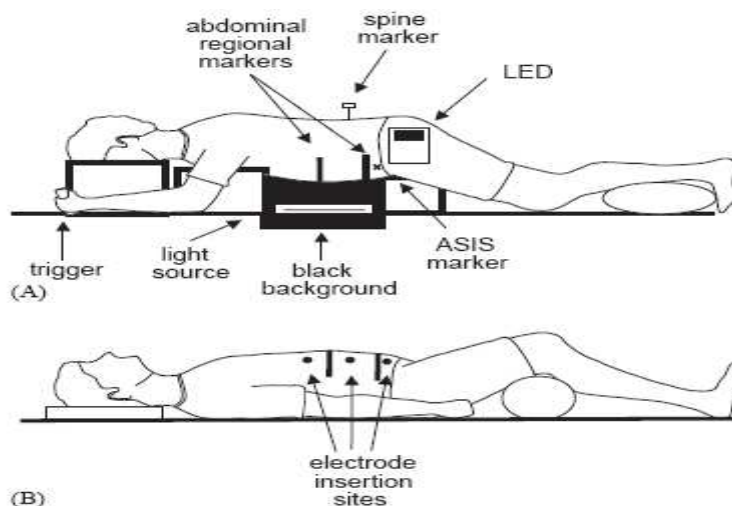


Fig. 1. Experimental set-up. Subjects were positioned in prone with supports underneath the xiphisternum and pubic symphysis (A), and in supine with their hips flexed to 45° (B). A marker was placed on the spinous process of the L3 vertebrae and the left ASIS, and borders of the abdominal regions were marked. A black background was used and a light source was placed inferior to the abdominal wall.

Exercise	Instructions ^a
Inward movement of the lower abdominal wall	Breathe in and out. Gently and slowly draw in your lower abdomen below your navel without moving your upper stomach, back or pelvis.

Fig : tratta da D.M. Urquhart et al. / Manual Therapy 10 (2005) 144–153

In uno studio successivo il concetto viene ulteriormente approfondito, analizzando il comportamento degli stessi muscoli in attività dell'arto superiore in stazione eretta o da seduti. In questo modo l'autore pone l'attenzione sulla loro funzione di stabilizzatori. "In entrambe le posizioni l'attivazione elettromiografica del TrA medio e inferiore non è differente da quella dell'OI medio o inferiore. Tuttavia si osserva la tendenza ad una attivazione del TrA che precede quella dell'OI." (Urquhart 2005)

Questo risultato è in accordo con il precedente studio, già citato, di Hodges in cui l'autore osserva che il TrA ha un'attivazione che preceda il movimento dell'arto superiore e che è indipendente rispetto al piano in cui si svolge il movimento.

Nel confronto tra tutti i diversi muscoli della zona lombare il comportamento dell' obliquo interno è intermedio tra quello del TrA e quello degli altri muscoli più superficiali.

Nello specifico si osserva infatti che l'OI si attiva prima che avvenga movimento nell'arto superiore (come per il TrA, ma con una maggior latenza), partecipando ad un prepattern motorio di stabilizzazione.

Tuttavia si osserva anche che tale reclutamento non è completamente indipendente dalla direzione del movimento ma presenta una diversa intensità di attivazione in funzione della stessa.

L'autore dimostra infatti come il muscolo partecipi con un prepattern d'attivazione ai movimenti di abduzione e d'estensione dell'arto superiore, ma non nella flessione. La spiegazione è imputabile a cause biomeccaniche: la flessione dell'arto superiore infatti determina uno spostamento in avanti del baricentro creando un momento flessorio del tronco esasperato dalla contrazione della muscolatura addominale (dell'intera parete in generale e dell'obliquo interno in particolare).

Il reclutamento dell'OI come stabilizzatore locale presenta analoghe caratteristiche anche per movimenti a carico degli arti inferiori (Hodges 1997, Cresswell 1992).

4.b) QUADRATO DEI LOMBI

La funzione del quadrato dei lombi è a tutt'oggi un mistero. A questo muscolo sono state attribuite numerose funzioni senza tuttavia il sostegno di efficaci dati quantitativi. (Phillips 2008).

La scarsa conoscenza a tal proposito è dovuta a fattori pratici: il QL è un muscolo profondo, difficile da raggiungere, e con un braccio di leva scarsamente efficace.

Per questo motivo è stato “trascurato”.

Tuttavia il grande interesse per il distretto lombare e per le problematiche ad esso associate hanno reso necessario approfondire l'argomento ed analizzare il contributo che questo muscolo ha nell'economia della colonna lombare.

L'anatomia topografica lo descrive come un muscolo che ha origine dalla cresta iliaca e dagli ultimi processi trasversi delle vertebre lombari per poi inserirsi cranialmente al margine inferiore della XII costa e alle prime vertebre lombari.

Studi più approfonditi parlano invece di una maggior complessità anatomica del quadrato dei lombi.

In uno studio del 2008 Phillips et al affrontano l'anatomia e la biomeccanica del quadrato dei lombi. Da uno studio autoptico su 6 cadaveri l'autore ha riscontrato come l'organizzazione del muscolo sia strutturata lungo tre diversi strati: l'anteriore, il medio e il posteriore. Ciascuno di essi comprende una sottostruttura in fasci con andamento iliocostale, lombocostale e iliolumbare. La composizione può essere schematizzata con una predominanza di fibre iliocostali per lo strato anteriore; lombocostali per il medio e iliolumbari e iliocostali per il posteriore.

Nell'analizzare i cadaveri, però l'autore ha riscontrato una grande variabilità interindividuale e riferisce di aver considerato solo i fasci più significativi in chiave motoria.

Anche per questo motivo si può spiegare perché non esista corrispondenza tra il suo lavoro e quello di Jemmett. In uno studio autoptico del 2004 infatti l'autore canadese parla di una diversa componente muscolare del QL.

Egli ha riscontrato una componente mediale del muscolo con andamento intersegmentario tra i processi trasversi da L1 a L4.

Ad ogni livello il muscolo ha origine dal terzo superolaterale del processo trasverso inferiore per inserirsi su quello superiore.

Questa componente del muscolo, anteriore ed estremamente mediale ad esso, rappresenta una sorta di passaggio dalla struttura del multifido a quella del QL. Infatti pur essendo in continuità anatomica con il QL presenta caratteristiche anatomiche (origine e inserzione) e biomeccaniche molto simili al multifido..

L'andamento intersegmentario, sommato alla stretta interdipendenza che il quadrato dei lombi ha con la FTL (ne è letteralmente avvolto: anteriormente dal fascio anteriore e posteriormente dal medio) (Ebenbichler, 2001) partecipa in modo attivo alla stiffness della colonna lombare e quindi alla sua stabilità.

Lo studio dell'attivazione del QL in attività funzionali è stato ben affrontato in due lavori di Andersson e McGill, entrambi datati 1996. Gli autori hanno indagato mediante elettromiografia i pattern d'attivazione del muscolo.

Dai risultati è evidente come il muscolo partecipi da agonista nel controllare la lateroflessione controlaterale del tronco e come muscolo ausiliario all'estensione.

Questa funzione del muscolo è stata confermata dallo studio biomeccanico di Phillips (2008) che però ne riduce l'importanza attribuendo al QL un contributo inferiore al 10% alla lateroflessione e un ruolo assolutamente "non significativo o sostanziale" all'estensione.

Più considerevole sembrerebbe invece essere il ruolo del QL nella stabilizzazione lombare per il piano frontale e per quello sagittale. Secondo Andersson, però il ruolo di stabilizzatore del muscolo deve essere considerato come quello di uno stabilizzatore generale. La sua attivazione, in particolar modo per movimenti nel piano frontale, ha infatti la funzione di mantenere e frenare il movimento lungo tutto il ROM (inner range ed outer range) e risulta essere dipendente dalla direzione dello stesso.

Si trova conferma in ciò dall'analisi dell'attività emg del QL nella stabilizzazione della colonna per l'attivazione del muscolo in attività dell'arto inferiore o per il "flexion-relaxation phenomenon" (fase di silenzio elettromiografico della porzione profonda dell'erector spinae in massima flessione di tronco con anca flessa a 90°). In questa situazione si osserva come il silenzio elettromiografico della muscolatura profonda si accompagni ad un'attivazione del QL la cui funzione garantisce il controllo della colonna lombare.

Quasi trascurabile è per Andersson invece la percentuale di attivazione del muscolo in stazione eretta (attività in soli 2 dei 7 soggetti indagati)

Diversa interpretazione è quella di McGill. Egli sembra porre particolare attenzione alla capacità del QL di creare un aumento della stiffness sotto carichi assiali mettendo in evidenza come le inserzioni su ogni segmento vertebrale lombare riescano a stabilizzare la colonna nella stazione eretta nel sollevare in modo simmetrico dei pesi.

Secondo Phillips, le forze di compressione generate dal QL, che dovrebbero garantire la stabilità della colonna ammontano a circa 200N per ogni segmento vertebrale. Questi valori risultano essere minimi messi a confronto con il multifido e l'erector spinae che generano forze di 1800-2800 N. Per questa ragione risulterebbe difficile attribuire un ruolo significativo nella stabilizzazione al quadrato dei lombi.

4c) ILEOPSOAS

Con il muscolo iliaco e lo psoas minor, il grande psoas o psoas major (PM) forma il muscolo ileopsoas..

Lo PM origina, mediante una serie di arcate fibrose, dalle facce laterali dell'ultima vertebra toracica e delle prime quattro vertebre lombari, dai dischi intervertebrali interposti e dalla base dei processi trasversi delle prime quattro vertebre lombari. Fondendosi con il muscolo iliaco e con il piccolo psoas (muscolo non sempre presente) converge verso l'eminanza iliopubica, quindi curva dorsalmente lungo il lato interno dell'articolazione dell'anca per poi inserirsi sul piccolo trocantere.

A tale complesso tradizionalmente si è attribuita un'attività prettamente fasica: il muscolo è considerato il principale flessore d'anca ed in alternativa un flessore della colonna lombare.

Dalla metà degli anni ottanta il suo comportamento nelle diverse attività è stato meglio indagato raggiungendo una più completa conoscenza del suo meccanismo d'azione.

Accanto al ruolo di mobilizzatore regionale, all'ileopsoas in generale, ed allo PM in particolare è stato infatti attribuito un ruolo di stabilizzatore.

I primi studi in tale direzione sono stati quelli di Nachemson 1968, Hadjipavlou 1996 e Bogduk 1992

Accanto a questi studi più teorici assumono particolare interesse i lavori svolti da Penning (2000, 2002).

L'autore presenta un complesso studio biomeccanico che analizza la funzione delle diverse componenti fascicolari del muscolo.

Egli riesce, attraverso modelli in vitro e ricostruzioni basate su bioimmagini, a dimostrare come l'azione del muscolo abbia grande rilevanza nel creare un aumento della stiffness e quindi della stabilità a carico del rachide lombare.

Dimostra infatti che, sul piano sagittale, lo psoas ha una duplice funzione sui due settori della colonna lombare (estensorio sopra e flessorio sotto) fatto che si traduce in una risultante neutra lordosizzante.

Ciò significa che l'azione del muscolo si esplica attraverso una forza che crea aumento di pressione sulla colonna vertebrale senza ottenere una deviazione dall'asse verticale.

L'unico segmento dove è presente una forza di taglio efficace è a livello L5-S1 dove l'inclinazione del margine superiore del sacro determina una diversa componente efficace del movimento..

Il comportamento attribuito allo psoas sul piano sagittale, trova ulteriori conferme in uno studio precedente di Santaguida e Mc Gill (1994) che analizzano l'azione del muscolo anche negli altri piani. Lo studio dei vettori di forza evidenzia come il muscolo presenti una componente efficace maggiore per la flessione laterale, intermedia per la rotazione assiale e minima per la flessione-estensione. Tuttavia si deve osservare che in tutti i piani dello spazio il muscolo è maggiormente efficace nella compressione dei diversi segmenti rispetto all'azione delle forze di taglio.

A tale scopo infatti intervengono sia la cocontrazione simmetrica dei due muscoli (che ha efficacia nel creare un perfetto sistema di

tiranti per equilibrare la colonna lombare sul piano frontale) (Crisco e Panjabi), sia la contrazione stessa delle masse muscolari che pressano contro la porzione laterale dai corpi vertebrali e contro la porzione anteriore dei processi trasversi dando rigidità e quindi stabilità alla colonna (Hadjpavlou).

La funzione di stabilizzatore dello psoas è dipendente dalla direzione del muscolo. L'andamento delle fibre, parallelo alla colonna, permette di mantenere elevata la componente coattante sulle vertebre. Ciò risulta da studi elettromiografici che testimoniano l'attività di stabilizzazione dello psoas in diverse posizioni: stazione eretta, cammino e corsa (Penning).

Il fattore discriminante nella perdita del ruolo di stabilizzatore della colonna è rappresentato dal passaggio del tendine attorno all'eminanza ileopubica. Fintanto che i fasci muscolari ne restano a contatto il muscolo mantiene la funzione di stabilizzatore; quando invece superati i 15° di flessione d'anca il muscolo si distacca dalla struttura ossea l'azione viene meno (Yoshio). Questo è in contraddizione con quanto affermato da Andersson (1996) che attribuisce allo psoas un ruolo di fondamentale importanza nel controllo della colonna lombare in posizione seduta.

A favore delle teorie che attribuiscono allo psoas un ruolo di stabilizzatore intervengono anche alcuni studi sull'anatomia del muscolo. Jemmett, nel suo lavoro pubblicato nel 2004, e già citato per il QL, prende in considerazione la struttura anatomica di alcuni muscoli del distretto coxo-lombo-pelvico tra cui lo psoas. Dal suo lavoro, uno studio autoptico, egli osserva come il muscolo abbia

delle inserzioni vertebrali, discali e fasciali. Tutte queste componenti hanno quindi l'effetto di riempire lo spazio intertrasversario con la possibilità di generare la compressione intersegmentaria in grado di garantire la stiffness nonché la stabilità della colonna.

Anche i lavori di Gibbons sono concordi nel sottolineare l'importanza dello psoas nella stabilizzazione lombare per azione delle sue connessioni fasciali.

Il legamento arcuato mediale infatti rappresenta il punto di fusione tra la fascia dello psoas e l'origine del diaframma. Infatti le connessioni vertebrali dello psoas sono in perfetta continuità con la struttura tendinea da cui origina il pilastro mediale del diaframma. Ne deriva che un movimento degli arti inferiori modifica l'inserzione del muscolo respiratorio influenzandone l'azione di stabilizzatore lombare (Gibbons 1999).

Inoltre, in direzione caudale si osserva un ispessimento della fascia dello psoas che crea connessioni prima con i tendini del TrA e dell'OI, e poi, più distalmente con la fascia che avvolge la muscolatura del pavimento pelvico per ancorarsi infine sull'orlo della pelvi.

Questo panorama di connessioni fasciali, che mette in relazione lo psoas con tutte le principali strutture dell'inner unit, comporta necessariamente una partecipazione del muscolo nelle attività di stabilizzazione. Il tensionamento delle strutture miofasciali infatti non è indipendente dall'attivazione muscolare, ma anzi questi due meccanismi concorrono in modo sinergico a creare una stabilizzazione più efficiente.

Quanto detto è testimoniato da Barker et al (2004) che, in uno studio con RMN, hanno osservato una riduzione significativa della sezione dello psoas in pazienti con LBP cronico.

Tuttavia, anche se il muscolo è stato assunto quale stabilizzatore della colonna lombare, è importante osservare come, a differenza dell'obliquo interno, esso abbia un effetto opposto sull'articolazione sacroiliaca. E' doveroso infatti ricordare come le linee di forza che portano ad un processo di compressione-stabilizzazione della colonna lombare agiscano in modalità opposta sulla sacro-iliaca. In un lavoro del 1998 Snijders illustra come l'azione dello psoas, parallela alle superfici articolari, produca delle forze di taglio tali da minare la stabilità dell'articolazione.

Si deve pertanto osservare come l'azione del muscolo abbia due comportamenti antitetici all'interno di due articolazioni funzionalmente molto correlate.

5) DISCUSSIONE

Il concetto di stabilità per il distretto coxo-lombo-pelvico è estremamente complesso. Risulta pertanto impossibile isolare l'azione di ogni singolo muscolo dal contesto in cui questo opera sia per la strutturalità dei pattern motori che per le strette connessioni anatomiche definite dal sistema miofasciale.

Partendo da questo presupposto, tuttavia la letteratura è riuscita a riconoscere un ruolo fondamentale all'inner unit, quel complesso costituito dai quattro muscoli profondi (traverso dell'addome, multifido, pavimento pelvico e diaframma) dotati delle caratteristiche tipiche degli stabilizzatori locali. L'idea di risolvere una problematica così complessa basandosi su un sistema elementare, che agisce unicamente attraverso questi muscoli è però troppo semplificativa. Gli sforzi della ricerca per meglio conoscere ed approfondire l'argomento in questione si sono quindi rivolti in svariate direzioni prendendo in considerazione altre componenti muscolari, apparentemente prive delle caratteristiche specifiche degli stabilizzatori locali. Ai muscoli analizzati infatti viene classicamente attribuito un ruolo di mobilizzatori o stabilizzatori generali, cioè un'attività principalmente fasica. Tuttavia sembrerebbe che possano in determinate condizioni assumere il ruolo di stabilizzatori locali e quindi comportarsi in modo diverso.

Mentre per l'obliquo interno esistono valide testimonianze a favore del suo ruolo di stabilizzatore locale, la situazione è meno definita per lo psoas e ancor meno per il quadrato dei lombi.

Gli studi che approfondiscono il ruolo dell'OI sono quelli metodologicamente più validi. La funzione del muscolo viene infatti

analizzata partendo non solo da studi anatomo-fisiologici ma anche da studi sperimentali con misurazioni ecografiche ed elettromiografiche. Questo secondo tipo di studi permette di analizzare in modo oggettivo il reale funzionamento del muscolo nelle diverse attività e proprio partendo da essi i diversi autori hanno potuto parlare di un'azione stabilizzante condivisa tra il TrA e l'OI.

Per le sue caratteristiche anatomo-fisiologiche e per la sua attività contrattile, l'obliquo interno può quindi a buon diritto essere considerato parte degli stabilizzatori locali. È importante tuttavia riconoscere come tale funzione debba essere attribuita solo alla sua porzione inferiore. La coesistenza al suo interno di una duplice attività può spiegare particolari fenomeni, come la mancata partecipazione dell'OI ad un prepattern motorio di stabilizzazione in alcuni movimenti degli arti (la flessione dell'arto superiore, in particolare, determinando uno spostamento in avanti del baricentro crea un momento flessorio che sarebbe esasperato dalla contrazione dell'obliquo non potendo il muscolo essere interamente isolato dalla componente che flette il tronco).

Se l'OI conserva numerose caratteristiche tipiche degli stabilizzatori locali, altrettanto non si può dire per il QL.

Il muscolo non presenta nello specifico le caratteristiche anatomiche degli stabilizzatori locali. L'unico elemento distintivo è la presenza dei fasci intertrasversari nella sezione più mediale del muscolo. L'esistenza di tale porzione non è però universalmente riconosciuta da tutti gli autori, ma anzi viene citata da Jemmett in uno studio autoptico su un solo cadavere e non da Phillips in uno studio analogo su sette. Viste le dimensioni del campione (con un

totale di otto individui: sette e uno) questo dato non può essere proiettato sulla popolazione; è infatti privo di un significativo valore statistico e può potenzialmente essere solo espressione di una variabilità interindividuale.

Le fonti sono discordi anche sul ruolo esercitato dal muscolo sul piano funzionale. È esemplare in tal senso come tre autori diversi attribuiscono al QL importanza diversa nella stabilizzazione locale: alta per McGill, minima per Phillips e nulla per Andersson.

I tre autori hanno ottenuto questi risultati da lavori diversi: mentre il lavoro di Phillips, che attribuisce una funzione intermedia del QL alla stabilizzazione, è uno studio biomeccanico gli altri due sono dei trial clinici che esaminano un campione che anche in questo caso risulta essere troppo ridotto per assumere un significato statistico (4 soggetti per McGill e 7 soggetti per Andersson).

Non è quindi possibile attribuire in modo certo al QL il ruolo di stabilizzatore locale. Oltre alle ridotte dimensioni dei campioni, che non permettono proiezioni sulla popolazione e che, come già detto, possono essere semplici espressioni di variabilità interindividuale, anche la qualità dei metodi d'indagine utilizzati non è sufficientemente elevata per lo scopo della ricerca.

A livello EMG, ad esempio, sarebbe stato necessario uno studio con elettrodi ad ago mirato alla componente intersegmentaria (se realmente presente). Questo tipo di studio oltre ad essere sottoposto ad un alto potenziale d'errore risulta al tempo stesso di enorme invasività per i soggetti studiati e quindi poco praticato.

Di fronte ad una così vasta variabilità interpretativa, sul piano teorico, risulta tuttavia più corretto attribuire al muscolo un ruolo di stabilizzatore generale. La sua azione, infatti si esplica principalmente sull'intero distretto lombare e non sui singoli

segmenti ed è in grado di controllare non solo l'inner ma anche l'outer range come è evidente attivandosi nel “flexion-relaxation phenomenon”.

Indipendentemente da quanto finora detto, si deve osservare però che, in funzione della sua posizione e dello stretto sistema di connessioni con la fascia toraco-lombare, il muscolo non può essere considerato come un elemento estraneo al sistema di stabilizzazione. Il QL infatti è avvolto dalla FTL, situato tra il foglietto anteriore e quello medio, fatto che rende il muscolo una struttura fondamentale nel sistema di trasmissione delle forze.

Si potrebbe quindi ipotizzare che la funzione di stabilizzatore locale del muscolo possa essere espressione di particolari abilità motorie apprese dal singolo individuo. La pratica dell'attività fisica e i sistemi di allenamento intervenendo a livello neurofisiologico potrebbero favorire l'apprendimento di schemi motori funzionalmente efficaci nel controllo posturale di un segmento così complesso. Risulta pertanto necessario approfondire quanto supposto all'interno di sottogruppi specifici.

La funzione dello psoas gioca un ruolo fondamentale nell'economia del distretto lombo-pelvico.

In funzione delle connessioni miofasciali, il muscolo rappresenta un elemento di continuità che mette in relazione tutte quattro le componenti dell'inner unit e l'obliquo interno.

Questa serie di connessioni permette di ottimizzare la trasmissione delle forze deputate alla stabilizzazione registrando solo una dispersione minima della forza generata dal muscolo.

Inoltre, pur rappresentando il principale flessore dell'anca, è al tempo stesso un efficiente stabilizzatore lombare che agisce attraverso una contrazione di tipo tonico.

L'azione di stabilizzatore è stata dimostrata attraverso il modello teorizzato da Penning nel suo lavoro del 2000. Tale modello risulta essere particolarmente importante perché dotato di rilevanza clinica. Secondo quanto proposto, lo psoas garantisce la stabilità della colonna perché alla luce della sua origine ed inserzione può essere considerato un muscolo intersegmentario, pur non essendolo. Le linee di forza con cui esso agisce hanno una direzione verticale che simula tale tipo di connessioni garantendo la stabilità al sistema.

L'efficacia dello psoas come stabilizzatore locale della colonna risulta pertanto correlata alla direzione delle linee di forza e quindi delle fibre muscolari. Ne segue che il passaggio attorno all'eminanza ileopubica, cioè fino ai 15° di flessione d'anca, risulta essere un elemento fondamentale per la validità di tale modello. Quanto detto però è in contraddizione con Andersson che osserva una notevole attività elettromiografica del muscolo per la stabilità della colonna in posizione seduta. Il quesito necessita quindi di ulteriori approfondimenti per avere una risposta esauriente.

E' da approfondire anche la funzione stabilizzante dello psoas sulla colonna lombare a livello del passaggio lombo-sacrale. Il diverso orientamento della superficie craniale del sacro infatti fa sì che il muscolo eserciti una forza di taglio sul segmento in questione.

Da ciò, si può ipotizzare che il reclutamento muscolare dello psoas, in casi di low back pain generati da problematiche specifiche per il livello L5-S1, non determini un miglioramento ma piuttosto possa essere la causa di un aggravarsi del quadro clinico.

Il tema trattato è un argomento estremamente complesso ed ancora poco indagato. Le pubblicazioni che riguardano questi muscoli non sono ancora giunte a trarre delle conclusioni precise ed assolutamente valide come invece è stato fatto con i muscoli che compongono la inner unit. Muscoli come lo psoas e il quadrato dei lombi sono dei muscoli che non si possono inquadrare in modo assoluto in una classificazione puramente scolastica. La loro attività si presenta come è già stato detto come una funzione a ponte tra due realtà quella del muscolo ad azione tonica e quella del muscolo ad azione fasica. Questi aspetti di notevole complessità devono essere tenuti presenti ed interpretati quando ci si trova nella pratica clinica.

In questa situazione è indispensabile muoversi secondo un ragionamento clinico in grado di analizzare in modo critico la situazione per poi poter adattare l'intervento riabilitativo allo specifico incontrato.

Nel recuperare la corretta fisiologia del distretto lombo pelvico il training riabilitativo deve tenere presente il ruolo di tutti i muscoli garantendo un corretto funzionamento del distretto interessato. Per fare questo è necessario mantenere un equilibrio tra mobilità e stabilità articolare e tra elasticità e tonicità muscolare. Il ruolo di questi muscoli deve essere inserito in un contesto specifico di funzionamento; deve tener presente le interconnessioni tra le diverse strutture considerando il sistema di stabilità come un complesso inscindibile che concorre al corretto funzionamento del distretto interessato.

6) CONCLUSIONI

Questo lavoro si è posto l'obiettivo di affrontare una tematica complessa. I meccanismi di stabilità lombare, basati principalmente sull'azione muscolare, sono ancora poco conosciuti. Accanto al ruolo dei muscoli più profondi dell'inner unit, hanno un ruolo fondamentale anche tre muscoli che appartengono al distretto in questione: l'OI, lo psoas e il QL. Se l'OI per quanto riguarda la sua parte inferiore può essere considerato uno stabilizzatore locale lo psoas e il QL dei lombi hanno dimostrato essere dei muscoli più complessi e di difficile classificazione. Essi infatti presentano proprietà particolari e può esser loro attribuito sia il ruolo di mobilizzatori che per certi aspetti quello di stabilizzatori.

La variabilità anatomica, la scarsa sensibilità dei metodi di indagine e le diverse abilità motorie tra gli individui tuttavia non hanno finora dato un quadro definitivo del meccanismo di stabilità lombare. Risulta pertanto necessario procedere con la ricerca in questa direzione in modo da approfondire ulteriormente ed avere più chiarezza per meglio capire i meccanismi che sottostanno alla fisiologia della colonna lombare e quindi poter garantire un approccio più efficace alle problematiche lombari.

7) BIBLIOGRAFIA

Andersson EA, Oddsson LI, Grundström H, Nilsson J, Thorstensson A.
EMG activities of the quadratus lumborum and erector spinae muscles during flexion-relaxation and other motor tasks.
Clin Biomech (Bristol, Avon). 1996 Oct;11(7):392-400

Barker KL, Shamley DR, Jackson D
Changes in the cross-sectional area of multifidus and psoas in patients with unilateral back pain: the relationship to pain and disability.
Spine. 2004 Nov 15;29(22):E515-9

Barker PJ, Urquhart DM, Story IH, Fahrner M, Briggs CA.
The middle layer of lumbar fascia and attachments to lumbar transverse processes: implications for segmental control and fracture.
Eur Spine J. 2007 Dec;16(12):2232-7. Epub 2007 Oct 9

Balboni et al.
Anatomia Umana.
Da edi-ermes terza edizione:2004

Barr KP, Griggs M, Cadby T
Lumbar stabilization: core concepts and current literature, Part 1.
Am J Phys Med Rehabil. 2005 Jun;84(6):473-80

Bogduk N, Pearcy M, Hadfield G
(1992) Anatomy and biomechanics of the psoas major.
Clin Biomech 7:109–119

Cresswell AG, Grundström H, Thorstensson A.
Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man.
Acta Physiol Scand. 1992 Apr;144(4):409-18.

Cynn HS, Oh JS, Kwon OY, Yi CH.
Effects of lumbar stabilization using a pressure biofeedback unit on muscle activity and lateral pelvic tilt during hip abduction in sidelying
Arch Phys Med Rehabil. 2006 Nov;87(11):1454-8

Comerford MJ, Mottram SL.
Movement and stability dysfunction--contemporary developments.
Man Ther. 2001 Feb;6(1):15-26. Review

Comerford MJ, Mottram SL.
Functional stability re-training: principles and strategies for managing mechanical dysfunction.
Man Ther. 2001a Feb;6(1):3-14. Review.

Dankaerts W, O'Sullivan P, Burnett A, Straker L.

Altered patterns of superficial trunk muscle activation during sitting in nonspecific chronic low back pain patients: importance of subclassification. *Spine*. 2006 Aug 1;31(17):2017-23.

Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC, Witvrouw EE, De Cuyper HJ. CT imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subjects. *Eur Spine J*. 2000 Aug;9(4):266-72

Delp SL, Suryanarayanan S, Murray WM, Uhler J, Triolo RJ. Architecture of the rectus abdominis, quadratus lumborum, and erector spinae. *J Biomech*. 2001 Mar;34(3):371-5

Ebenbichler GR, Oddsson LI, Kollmitzer J, Erim Z. Sensory-motor control of the lower back: implications for rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Nov;33(11):1889-98. Review

Ferreira PH, Ferreira ML, Hodges PW. Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity. *Spine*. 2004 Nov 15;29(22):2560-6

Filho Rde F, de Brito Silva P, Ito MA, Alves N, Padovan CR, Mícolis de Azevedo F. Stabilization of lumbo-pelvic region and electromyography of the abdominal muscles. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 2006 Jan-Feb;46(1):51-7.

Gibbons
Biomechanics and stability mechanism of psoas major.
In: Proceedings of the fourth interdisciplinary World Kongress on Low back and Pelvic Pain. Montreal, Canada November 2001

Grenier SG, McGill SM. Quantification of lumbar stability by using 2 different abdominal activation strategies. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007 Jan;88(1):54-62

Hadjipavlou AG, Farfan HF, Simmons JW (1996) The functioning spine. In: Farfan HF, Simmons JW, Hadjipavlou AG (eds) *The sciatic syndrome*. Slack, Thorofare, pp 41–73

Hagins M, Pietrek M, Sheikhzadeh A, Nordin M. The effects of breath control on maximum force and IAP during a maximum isometric lifting task. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006 Oct;21(8):775-80. Epub 2006 Jun 6.

Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb.

Phys Ther. 1997 Feb;77(2):132-42; discussion 142-4

Hodges PW.

Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability?

Man Ther. 1999 May;4(2):74-86.

Hodges PW.

Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability?

Man Ther. 1999 May;4(2):74-86. Review.

Hides J, Gilmore C, Stanton W, Bohlscheid E.

Multifidus size and symmetry among chronic LBP and healthy asymptomatic subjects.

Man Ther. 2008 Feb;13(1):43-9. Epub 2006 Oct 27.

Jemmett RS, Macdonald DA, Agur AM.

Anatomical relationships between selected segmental muscles of the lumbar spine in the context of multi-planar segmental motion: a preliminary investigation.

Man Ther. 2004 Nov;9(4):203-10

Lucas DB, Bresler B

Stability of the ligamentous spine.

Technical report esr 11 no 40, Biomechanics laboratory.university of California 1961

Mannion AF, Pulkovski N, Gubler D, Gorelick M, O'Riordan D, Loupas T, Schenk P, Gerber H, Sprott H.

Muscle thickness changes during abdominal hollowing: an assessment of between-day measurement error in controls and patients with chronic low back pain.

Eur Spine J. 2008 Apr;17(4):494-501. Epub 2008 Jan 15

McGill S, Juker D, Kropf P

Quantitative intramuscular myoelectric activity of quadratus lumborum during a wide variety of tasks.

Clin Biomech (Bristol, Avon). 1996 Apr;11(3):170-172

MacDonald DA, Moseley GL, Hodges PW.

The lumbar multifidus: does the evidence support clinical beliefs?

Man Ther. 2006 Nov;11(4):254-63. Epub 2006 May 23. Review.

Nachemson, A (1968) The possible importance of the psoas muscle for stabilization of the lumbar spine. Acta Orthop Scand 39:47-57

Oxland TR, Panjabi MM.

The onset and progression of spinal injury: a demonstration of neutral zone sensitivity.

J Biomech. 1992 Oct;25(10):1165-72.

Panjabi MM

The stabilizing system of the spine. Part I. Function dysfunction, adaptation and enhancement.

J Spinal Disorders, 1992; 5(4):383-9

Panjabi MM

The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral Zone and instability hypothesis. J Spinal Disorders, 1992; 5(4): 390-7

Penning L

Psoas muscle and lumbar spine stability: a concept uniting existing controversies. Critical review and hypothesis.

Eur Spine J. 2000 Dec;9(6):577-85

Penning L.

Spine stabilization by psoas muscle during walking and running

Eur Spine J. 2002 Feb;11(1):89-90

Phillips S, Mercer S, Bogduk N.

Anatomy and biomechanics of quadratus lumborum.

Proc Inst Mech Eng [H]. 2008 Feb;222(2):151-9

Quint U, Wilke HJ, Shirazi-Adl A, Parnianpour M, L  er F, Claes LE.

Importance of the intersegmental trunk muscles for the stability of the lumbar spine. A biomechanical study in vitro.

Spine. 1998 Sep 15;23(18):1937-45.

Reid JG, Livingston LA, Pearsall DJ.

The geometry of the psoas muscle as determined by magnetic resonance imaging.

Arch Phys Med Rehabil. 1994 Jun;75(6):703-8

Santaguida PL, McGill SM.

The psoas major muscle: a three-dimensional geometric study.

J Biomech. 1995 Mar;28(3):339-45

Snijders CJ, Ribbers MT, de Bakker HV, Stoeckart R, Stam HJ.

EMG recordings of abdominal and back muscles in various standing postures: validation of a biomechanical model on sacroiliac joint stability.

J Electromyogr Kinesiol. 1998 Aug;8(4):205-14.

Stevens VK, Coorevits PL, Bouche KG, Mahieu NN, Vanderstraeten GG, Danneels LA.

The influence of specific training on trunk muscle recruitment patterns in healthy subjects during stabilization exercises. :

Man Ther. 2007 Aug;12(3):271-9. Epub 2006 Sep 12

Thomas JS, France CR, Sha D, Vander Wiele N, Moenter S, Swank K.

The effect of chronic low back pain on trunk muscle activations in target reaching movements with various loads.
Spine. 2007 Dec 15;32(26):E801-8

Urquhart DM, Barker PJ, Hodges PW, Story IH, Briggs CA.
Regional morphology of the transversus abdominis and obliquus internus and externus abdominis muscles.
Clin Biomech (Bristol, Avon). 2005 Mar;20(3):233-41

Urquhart DM, Hodges PW, Allen TJ, Story IH.
Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises.
Man Ther. 2005 May;10(2):144-53

Urquhart DM, Hodges PW, Story IH.
Postural activity of the abdominal muscles varies between regions of these muscles and between body positions.
Gait Posture. 2005 Dec;22(4):295-301. Epub 2005 Jan 19

Whyte AA and Panjabi MM.
Clinical biomechanics of the spine.
Philadelphia: JB Lippincott 1978 pg 194

Yoshio M, Murakami G, Sato T, Sato S, Noriyasu S.
The function of the psoas major muscle: passive kinetics and morphological studies using donated cadavers.
J Orthop Sci. 2002;7(2):199-207