



Università degli Studi  
di Genova



# Università degli Studi di Genova

---

FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA

**MASTER IN RIABILITAZIONE DEI DISTURBI MUSCOLOSCHIELETRICI**

*In collaborazione con Master of Science in Manual Therapy*

*Vrije Universiteit Brussel*

**APPRENDIMENTO E CONTROLLO  
MOTORIO IN PAZIENTI CON LBP E PGP  
CRONICO - revisione della letteratura**

**RELATORE:**

Dt Mag Andrea Turolla

**CANDIDATO:**

Dott.ssa Emanuela Ricci

ANNO ACCADEMICO 2009-2010

# SOMMARIO

<b>INDICE</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>BACKGROUND</b> .....	<b>5</b>
LOW BACK PAIN AND PELVIC GIRDLE PAIN – Rilevanza ed effetti funzionali.....	5
SISTEMA DI STABILIZZAZIONE - Apprendimento e controllo motorio .....	6
<b>MATERIALI E METODI</b> .....	<b>10</b>
<b>RISULTATI</b> .....	<b>11</b>
Diagramma di flusso .....	11
Tabelle di esclusione.....	12
Tabella di inclusione .....	19
LOW BACK PAIN and MOTOR LEARNING.....	25
CHRONIC LOW BACK PAIN and CORTICAL REORGANISATION .....	28
CORTICAL PLASTICITY and MOTOR LEARNING .....	33
<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>41</b>
<b>KEY POINT</b> .....	<b>42</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>43</b>

## ABSTRACT

Il sistema nervoso centrale prepara e modula il sistema muscolare per supportare la colonna lombare e ogni suo segmento durante le attività funzionali e di carico; la differenziazione funzionale tra muscoli globali e locali è quindi in relazione al controllo motorio della colonna vertebrale. A tal proposito, è stata evidenziata la correlazione tra low back pain (LBP) e deficit di controllo motorio nei muscoli del sistema locale, in particolare a livello di *transversus abdominis* (TrA) e *lumbar multifidus* (LM). Questi muscoli sembrano perdere la loro normale funzione anticipatoria nei pazienti con low back pain cronico (CLBP), manifestando un ritardo di attivazione e la perdita della loro normale funzione anticipatoria di supporto. All'interno di questa popolazione, il TrA sembra essere incapace di funzionare indipendentemente dagli altri muscoli addominali e mostra un'attività fasica rispetto alla supposta attività tonica richiesta per la funzione di controllo. A livello di LM è stata, invece, evidenziata una reazione di inibizione a livello segmentale. Il programma riabilitativo specifico mirato al training di stabilizzazione segmentale, i cui esercizi si assume siano basati sull'applicazione di principi che promuovano il controllo ed apprendimento motorio (*'motor control and learning'*), si pone l'obiettivo di eliminare le disfunzioni a carico dei muscoli chiave e di ripristinare la normale funzione sinergica tra sistema muscolare locale e globale.

**Obiettivo:** Lo scopo della presente revisione è di indagare lo stato dell'arte in merito ai meccanismi che si instaurano a livello del sistema nervoso centrale nel momento in cui il paziente svolge una rieducazione integrata con esercizi specifici di controllo motorio. Una delle finalità è valutare l'eventuale evidenza in letteratura della possibile riorganizzazione e modificazione corticale, e discutere le possibili implicazioni nella pratica clinica del fisioterapista.

**Materiali e metodi:** La ricerca è stata effettuata attraverso le banche dati elettroniche MEDLINE, PEDRO e COCHRANE mediante l'utilizzo di parole chiave come 'low back pain', 'back pain', 'cortical changes', 'cortical reorganisation', 'cortical plasticity' combinandole tra loro per mezzo di operatori booleani. Sono stati presi in esame esclusivamente gli studi pubblicati negli ultimi 10 anni (2001-2011), redatti in lingua italiana o inglese ed effettuati su specie umana. Sono stati esclusi gli articoli di cui non

era disponibile l'abstract e di cui non si riconosceva pertinenza con l'argomento di studio.

**Risultati:** La condizione di LBP cronico induce a livello corticale alcune modificazioni: una riduzione della sostanza grigia nella corteccia prefrontale dorsolaterale e nella corteccia sensomotoria, una localizzazione più posteriore e laterale del centro di gravità (CoG) del trasverso dell'addome (TrA) ed una conseguente riduzione del meccanismo anticipatorio del TrA stesso. Il training basato sul '*motor control and learning*' porta ad un'inversione delle modificazioni neuroplastiche associate a LBP cronico: si riscontra infatti la riduzione della sintomatologia, uno shift anteromediale nella rappresentazione corticale motoria del TrA ed il ripristino del meccanismo di feedforward del TrA.

**Conclusioni:** Il deficit di attivazione posturale rilevato in pazienti con LBP cronico può essere ricondotto ad importanti variazioni dell'eccitabilità e dell'organizzazione corticale motoria. Secondo le evidenze reperite, tale condizione di dolore e disabilità può essere modificata mediante l'implementazione di uno specifico training di apprendimento motorio, identificato come '*motor control and learning*', che conduce inoltre, a cambiamenti plastici del sistema nervoso. Indagare e osservare più approfonditamente i cambiamenti corticali che il training di apprendimento motorio induce in una determinata popolazione di pazienti può essere l'obiettivo futuro maggiormente appropriato al fine di guidare tali modificazioni in specifiche direzioni riabilitative.

## **BACKGROUND**

### **LOW BACK PAIN AND PELVIC GIRDLE PAIN – Rilevanza ed Effetti Funzionali**

Il Low back pain (LBP), termine con cui si identifica il dolore e/o la limitazione funzionale compresa tra l'arcata inferiore della 12-esima costa e la piega glutea inferiore, rappresenta un problema sanitario, economico e sociale rilevante all'interno dei paesi Europei. Colpisce circa l'80% della popolazione, tipicamente attiva, e si associa ad elevati costi di cure sanitarie, assenteismo lavorativo e disabilità (1). Il termine Pelvic girdle pain (PGP) descrive il dolore avvertito tra la cresta iliaca posteriore e la piega glutea, in particolare in prossimità delle articolazioni sacroiliache (SIJ) (2). Il dolore può irradiare posteriormente nella coscia e può essere avvertito congiuntamente o separatamente alla sinfisi. Il PGP solitamente si presenta in relazione a gravidanza, trauma o artrite reattiva e la capacità di mantenere la stazione eretta, camminare e stare seduta generalmente risulta diminuita. La definizione fornita dalle GuideLines WG4 considera il PGP una particolare tipologia di LBP che può manifestarsi con o senza LBP, la cui diagnosi può essere fatta solo dopo l'esclusione di cause lombari (2).

Le guide linea internazionali per la gestione del LBP raccomandano una primaria distinzione in patologia specifica spinale, dolore alla radice nervosa e LBP aspecifico. Molti autori suggeriscono un'ulteriore stadiazione del problema in base alla durata del sintomo, distinguendo LBP acuto, sub-acuto o cronico. Quest'ultimo rappresenta un problema complesso, multidimensionale, dove le caratteristiche fisiche si associano a quelle psicosociali (1).

Da un punto di vista prettamente biomeccanico, in un quadro di LBP cronico il rachide subisce una perdita di movimento durante i compiti funzionali con maggiore asimmetria e variabilità nelle performance. Si verifica una riduzione di velocità nei movimenti e un'attivazione muscolare alterata, sia in condizioni statiche che dinamiche, determinando, quindi, alterati pattern di reclutamento muscolare durante movimenti con gli arti in associazione ad alterazioni di equilibrio. La conseguente perdita di stabilità e controllo risulta dunque essere influenzata dal carico sostenuto dalla colonna lombare e intensifica la produzione di input nocicettivi periferici. Queste variazioni fisiche sono il

risultato della modificazione dei centri superiori di rappresentazione corticale motoria e dei tentativi individuali di mantenere la funzione in caso di schema corporeo alterato. Il trattamento sarà pertanto strutturato al fine di normalizzare la performance motoria basandosi su di un modello di apprendimento biomeccanico a carattere funzionale implementato a livello periferico.

## SISTEMA DI STABILIZZAZIONE – Apprendimento e Controllo Motorio

Bergmark (1989) (3) ipotizza la presenza di due sistemi muscolari in grado di mantenere la stabilità del rachide lombare, soprattutto in fase dinamica e sotto l'intensificazione di carichi: il sistema muscolare globale, costituito da muscoli che producono ampi momenti di forza e che agiscono sul tronco e sul rachide in modo indiretto e aspecifico, e il sistema muscolare locale, costituito da muscoli che si inseriscono direttamente sui segmenti vertebrali, responsabili della stabilità vertebrale segmentale.

I muscoli profondi del tronco, appartenenti a questo secondo sistema, sono identificabili nel *Transversus abdominis*, *Lumbar Multifidus*, fibre inferiori di *Obliquus internus abdominis* e *Diaframma*, e risultano essere attivati precedentemente a movimenti del tronco e degli arti, con patterns di co-contrazione che incrementano la stiffness spinale e limitano i movimenti intersegmentali (4).

Il *trasversus abdominis* (TrA), la cui funzione risulta indebolita in presenza di low back pain, riveste un ruolo fondamentale nel controllo motorio in quanto fornisce uno specifico contributo alla stabilità spinale. L'attivazione del TrA, solitamente tonica, precede i gruppi muscolari responsabili dei movimenti degli arti, in modo costante e senza modificazioni relative alla direzione di movimento, ed è pre-programmata dal sistema nervoso centrale per contribuire alla stabilità anticipatoria del rachide in caso di eventuali perturbazioni. In seguito all'attivazione del TrA la pressione intra-addominale aumenta contribuendo meccanicamente al processo preparatorio che precede i movimenti degli arti; è essenziale, inoltre, la contrazione di diaframma e pavimento pelvico al fine di consentire al TrA di sviluppare tensione isometrica sufficiente ad

aumentare la pressione intra-addominale e la messa in tensione della fascia endo-pelvica (5).

Anche i muscoli paraspinali profondi mostrano un'alterazione dell'attività in caso di LBP: durante compiti funzionali, si verifica una ridotta ampiezza dell'attività del *lumbar multifidus* (LM) e un'alterata risposta durante variazioni di carico (6). I cambiamenti nell'attività del LM sono compatibili con modificazioni della morfologia e dell'affaticabilità, anch'esse riconducibili ad un alterato uso del muscolo; alcuni studi riportano infatti cambiamenti nella composizione delle fibre del muscolo, un aumento dell'affaticabilità ed una riduzione della cross-sectional area del multifido lombare (6).

In base alla patologica instabilità della colonna lombare evidenziata nei soggetti con low back pain, che numerosi studi hanno definito come incremento e degenerazione del movimento intersegmentale, in particolare attorno alla zona neutra, il controllo di questa caratteristica è di fondamentale importanza. Panjabi (1992) definisce l'instabilità del rachide in termini di regione di lassità attorno alla posizione neutra, definita come 'zona neutra', di un segmento spinale; l'ampiezza della zona neutra rappresenta un'importante misura di stabilità spinale. Quest'ultima risulta influenzata dall'interazione, sempre secondo Panjabi, di sistema passivo, attivo e di controllo neurale:

- Sistema passivo: vertebre, dischi intervertebrali, articolazioni zigoapofisarie e legamenti;
- Sistema attivo: muscoli e tendini che circondano e agiscono sulla colonna lombare;
- Sistema neurale: nervi e sistema nervoso centrale che dirige e controlla il sistema attivo al fine di fornire stabilità dinamica (7).

I sistemi risultano essere interdipendenti tra loro e la loro interazione è complessa e di larghe proporzioni. Il ruolo stabilizzante delle varie componenti della colonna è stato studiato simulando lesioni in modelli biomeccanici e determinando gli effetti sulla zona neutra e sul ROM del rachide; ciò permette di sottolineare l'importanza delle componenti rachidee in caso di LBP, e di evidenziare la difficoltà di studio delle altre due componenti del sistema di stabilizzazione spinale, sistema attivo e unità di controllo neurale (8).

Il reclutamento e la co-contrazione nella popolazione con LBP, all'interno di specifiche sinergie muscolari, sono regolati dal sistema di controllo neurale, con l'obiettivo di mantenere la stabilità anche in presenza di disfunzioni locali. Ciò suggerisce come il decondizionamento generale e la perdita di funzione siano conseguenti alla presenza di Chronic Low Back Pain e che tali alterazioni si presentino come perdita di controllo del movimento e si associno all'incapacità di co-contrazione del sistema muscolare locale all'interno della zona neutra. Questa popolazione di pazienti sviluppa strategie di movimento compensatorie, attuate principalmente dal sistema muscolare globale, che stabilizzano il segmento di movimento all'esterno della zona neutra e in direzione della posizione end-range.

Il trattamento riabilitativo fisioterapico per pazienti con chronic low back pain (CLBP) può essere rivolto ad un training muscolare specifico, per ripristinare la condizione necessaria ottimale per la stabilità dinamica ed il controllo segmentale del rachide, sulla base dell'identificazione del deficit di controllo specifico di questi muscoli (*transversus abdominis*, *lumbar multifidus* e *diaframma*).

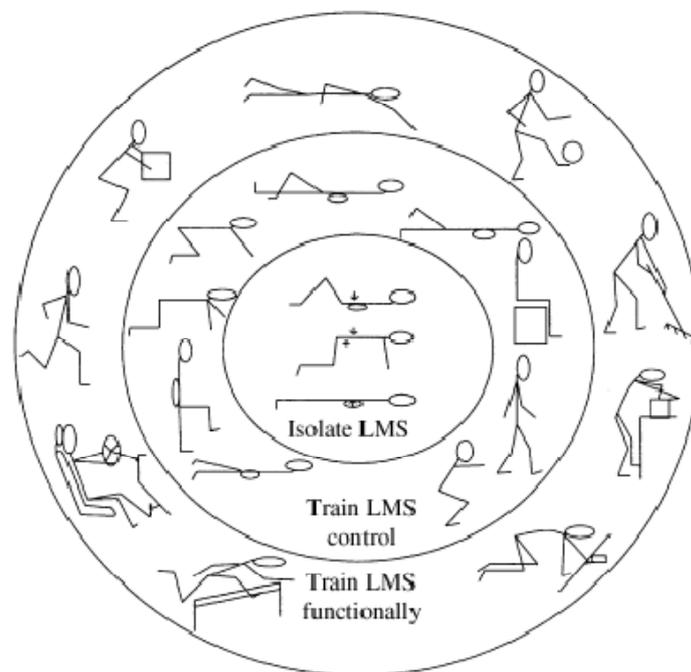


Fig. 1 : Stadi di riabilitazione basati sul modello 'motor learning' (LMS – Local muscle system) (W.B. Saunders)

Questo approccio è basato sul modello *motor learning* per cui il o i pattern di movimento alterati vengono identificati e successivamente isolate le componenti di movimento che saranno quindi nuovamente impostate in specifici compiti funzionali di cui il singolo paziente necessita (9).

Questo specifico intervento consta di tre stadi; la prima fase, definita come fase cognitiva, richiede al soggetto un alto livello di consapevolezza nel reclutare ed isolare la co-contrazione del sistema muscolare locale escludendo la sostituzione del sistema globale. L'obiettivo è quello di allenare la specifica co-contrazione isometrica di TrA e LM a bassi livelli di carico mantenendo il controllo della respirazione e la posizione neutra lombare.

La seconda fase del *motor learning* è definita come fase associativa, in cui sono individuati alcuni pattern di movimento provocativi o alterati e viene richiesto al paziente di mantenere la postura neutra nelle situazioni in cui hanno dolore o si sentono instabili. La terza fase, stadio di autonomia, è quella in cui il soggetto può stabilizzare dinamicamente il rachide in modo automatico e appropriato durante le richieste funzionali della vita quotidiana.

## MATERIALI E METODI

Con l'obiettivo di raccogliere dati inerenti e adeguati alla compilazione della revisione, è stata condotta una ricerca bibliografica all'interno delle banche dati elettroniche Medline (mediante il motore di ricerca dedicato Pubmed), PeDro e Cochrane.

Nelle stringhe di ricerca sono state utilizzate le seguenti key words: 'low back pain', 'back pain' e 'motor learning' alle quali sono stati associati termini inerenti la trattazione mediante l'utilizzo di operatori booleani, AND e OR. Ciò ha permesso l'identificazione di articoli che analizzano la riorganizzazione corticale in seguito a training specifico di controllo motorio:

- cortical changes
- cortical reorganisation
- cortical plasticity

Le combinazioni di tali parole chiave in stringhe di ricerca sono state, pertanto, le seguenti: "motor learning low back pain", "motor learning low back", "(low back pain OR back pain) AND cortical changes\*", "(low back pain OR back pain) AND cortical reorganisation", "(low back pain OR back pain) AND cortical plasticity".

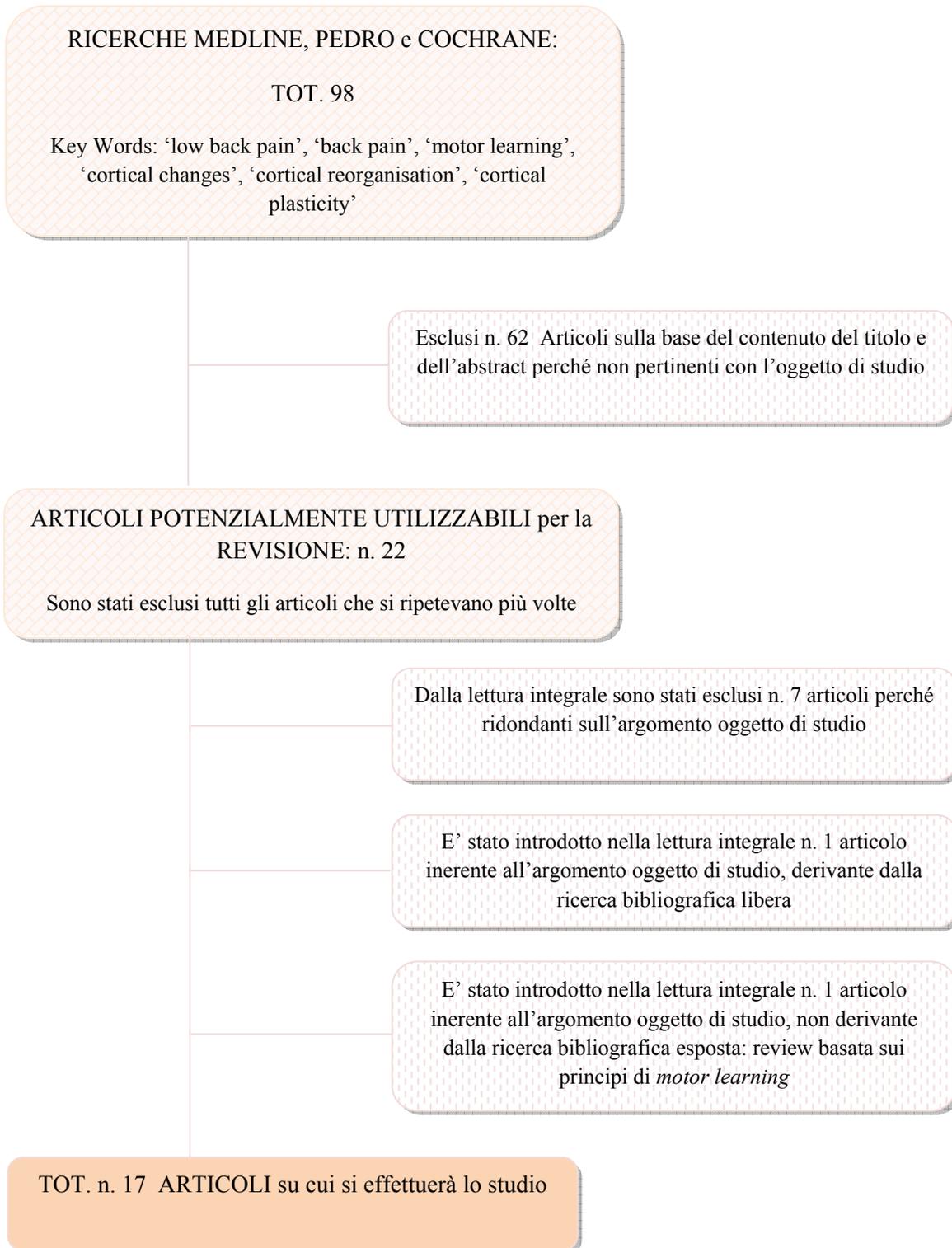
Sono stati quindi analizzati gli articoli che rispettavano i seguenti domini di inclusione:

- \* Articoli scritti in lingua inglese o italiana
- \* Studi esclusivamente condotti su specie umana
- \* Articoli dei quali fosse possibile la consultazione dell'abstract
- \* Articoli pubblicati o indicizzati negli ultimi 10 anni (2001 – 2011)

Non è stato imposto alcun limite di età per i soggetti inclusi nello studio.

I criteri di esclusione presi in considerazione per l'eliminazione di articoli non adeguati sono stati, essenzialmente, la non appropriatezza linguistica, il riferimento a trattamenti non inerenti l'apprendimento motorio, tra i quali interventi farmacologici o chirurgici, e la non appartenenza al limite temporale stabilito (alcuni articoli antecedenti sono stati utilizzati solo in fase introduttiva per l'inquadramento del campo di ricerca).

## RISULTATI



In base ad una prima selezione che prendeva in considerazione titolo e abstract, sono stati esclusi dalla lettura integrale n. 62 articoli qui sotto riportati.

**Tabella 1: Articoli esclusi in base a titolo e abstract; stringhe di ricerca 'motor learning low back pain' e 'motor learning low back'**

Publicazione – Titolo – Autore	Criteri di esclusione
Cochrane Database of Systematic Reviews 2007; 1 Physiotherapy treatment approaches for the recovery of postural control and lower limb function following stroke Pollock A, Baer G, Pomeroy V, Langhorne P	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
New Zealand Journal of Physiotherapy 2007; 35(1):4-11 Real-time ultrasound feedback and abdominal hollowing exercises for people with low back pain Anderson Worth SG, Henry SM, Bunn JY	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Neural Regeneration Research 2007; 2(10): 636-640 Effect of active and passive training apparatus combined with rehabilitation training on lower limb function of stroke patients during recovery period Tian Y, Shi L, Jing L, Li L, Chen B, Zhao K	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Indian Journal of Physiotherapy and Occupational Therapy 2010; 4(2): 61-65 Comparison of real-time ultrasound imaging and pressure biofeedback training for performing abdominal drawing-in maneuver in low back pain Bajaj S, Chitra K, Shallu S.	Non identifica il trattamento specifico.
Memory 2010; 18(5): 543-55 Individual differences in false memory from misinformation: cognitive factors Zhu B, Chen C, Loftus EF, Lin C, He Q, Chen C, Li H, Xue G, Lu Z, Dong Q.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Psychopharmacology (Berl) 2010; 209(4):331-41 Mechanism and performance measures in mastery-based incremental repeated acquisition: behavioral and pharmacological analyses. Bailey JM, Johnson JE, Newland MC.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Behav Brain Res. 2010 Mar 17;208(1):178-88 Social deficits, stereotypy and early emergence of repetitive behavior in the C58/J inbred mouse strain. Ryan BC, Young NB, Crawley JN, Bodfish JW, Moy SS.	Non effettuato su umani.
Parkinsonism Relat Disord. 2010 Jan;16(1):64-7 Effects of deep brain stimulation of the pedunculopontine area on working memory tasks in patients with Parkinson's disease. Costa A, Carlesimo GA, Caltagirone C, Mazzone P, Pierantozzi M, Stefani A, Peppe A.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Joint Bone Spine. 2009 May;76(3):286-9 Reliability of a modified Modic classification of bone marrow changes in lumbar spine MRI. Fayad F, Lefevre-Colau MM, Drapé JL, Feydy A, Chemla N, Quintéro N, Rannou F, Poiraudou S, Fermanian J, Revel M.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
J Exp Anal Behav. 2008 Jul;90(1):113-24	Non effettuato su umani.

An inexpensive and automated method for presenting olfactory or tactile stimuli to rats in a two-choice discrimination task. Iversen IH.	
Brain Res. 2008 Mar 27;1201:114-21 Ventro-lateral prefrontal activity during working memory is modulated by MAO A genetic variation. Cerasa A, Gioia MC, Fera F, Passamonti L, Liguori M, Lanza P, Muglia M, Magariello A, Quattrone A.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Occup Environ Med. 2008 Aug;65(8):525-33 Effort-reward imbalance and incidence of low back and neck injuries in San Francisco transit operators. Rugulies R, Krause N.	Non identifica il trattamento specifico.
Behav Brain Res. 2008 Mar 17;188(1):136-53 Are benzodiazepines really anxiolytic? Evidence from a 3D maze spatial navigation task. Ennaceur A, Michalikova S, van Rensburg R, Chazot PL.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
J Electromyogr Kinesiol. 2009 Jun;19(3):380-90 Reliability of posturographic measurements in the assessment of impaired sensorimotor function in chronic low back pain. Leitner C, Mair P, Paul B, Wick F, Mittermaier C, Sycha T, Ebenbichler G.	Non identifica il trattamento specifico.
J Orthop Sports Phys Ther. 2007 Oct;37(10):627-34 Ultrasound imaging as a feedback tool in the rehabilitation of trunk muscle dysfunction for people with low back pain. Henry SM, Teyhen DS.	Non identifica il trattamento specifico.
Spine (Phila Pa 1976). 2007 Jul 15;32(16):E460-6 Pain-related fear is associated with avoidance of spinal motion during recovery from low back pain. Thomas JS, France CR.	Non identifica il trattamento specifico.
J Rehabil Med. 2006 Nov;38(6):360-7 Optoelectronic movement analysis to measure motor performance in patients with chronic low back pain: test of reliability. Schön-Ohlsson CU, Willén JA, Johnels BE.	Non identifica il trattamento specifico.
J Manipulative Physiol Ther. 2006 Jun;29(5):378-85 Effects of visual feedback on manipulation performance and patient ratings. Triano JJ, Scaringe J, Bougie J, Rogers C.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Eur J Pain. 2006 Nov;10(8):701-9. Epub 2006 Jan 19 The relationship between activity and pain in patients 6 months after lumbar disc surgery: do pain-related coping modes act as moderator variables? Hasenbring MI, Plaas H, Fischbein B, Willburger R.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Clin J Pain. 2006 Jan;22(1):45-54. Fear-avoidance beliefs, disability, and participation in workers and non-workers with acute low back pain. Swinkels-Meewisse IE, Roelofs J, Verbeek AL, Oostendorp RA, Vlaeyen JW.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Spine (Phila Pa 1976). 2005 Sep 1;30(17):E509-16 Sensory motor learning in patients with chronic low back pain: a prospective pilot study using optoelectronic movement analysis. Schön-Ohlsson CU, Willén JA, Johnels BE.	Non identifica il trattamento specifico.
Behav Neurosci. 2005 Apr;119(2):538-47 Instrumental learning within the rat spinal cord: localization of the essential neural circuit. Liu GT, Ferguson AR, Crown ED, Bopp AC, Miranda RC, Grau JW.	Non effettuato su umani.
Percept Mot Skills. 2004 Dec;99(3 Pt 1):861-70	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il

Effect of five weeks of strength and flexibility training on associations between self-reported and performance-based measures of physical fitness in older African-American adults. Schuler PB, Marzilli TS, Kozusko J.	trattamento specifico.
Clin J Pain. 2005 Jan-Feb;21(1):9-17 Fear of movement/(re)injury in chronic low back pain: education or exposure in vivo as mediator to fear reduction? de Jong JR, Vlaeyen JW, Onghena P, Goossens ME, Geilen M, Mulder H.	Non identifica il trattamento specifico.
Behav Brain Res. 2004 Jul 9;152(2):351-60 Individual coping characteristics, rearing conditions and behavioural flexibility in pigs. Bolhuis JE, Schouten WG, de Leeuw JA, Schrama JW, Wiegant VM.	Non effettuato su umani.
Neurology. 2004 Jan 27;62(2):234-8 Brain activation patterns associated with working memory in relapsing-remitting MS. Wishart HA, Saykin AJ, McDonald BC, Mamourian AC, Flashman LA, Schuschu KR, Ryan KA, Fadul CE, Kasper LH.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Pain. 2004 Jan;107(1-2):125-33 Subcutaneous administration of botulinum toxin A reduces formalin-induced pain. Cui M, Khanijou S, Rubino J, Aoki KR.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Percept Mot Skills. 2003 Oct;97(2):339-59 Effect of two different videotaped instructional models on motor and verbal behaviors of adults' lifting: a pilot study. McPherson SL, Bull JR.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico.
Clin Biomech (Bristol, Avon). 2003 Jul;18(6):473-9 Back strength cannot be predicted accurately from anthropometric measures in subjects with and without chronic low back pain. Larivière C, Gravel D, Gagnon D, Arsenault AB, Loisel P, Lepage Y.	Non identifica il trattamento specifico.
BMC Musculoskeletal Disorders 2009, 10:136 Does physical activity change predict functional recovery in low back pain? Protocol for a prospective cohort study Paul Hendrick*, Stephan Milosavljevic, Melanie L Bell, Leigh Hale, Deirdre A Hurley, Suzanne M McDonough, Markus Melloh, David G Baxter	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né il trattamento specifico
Phys Ther. 2008;88:261-269 Influence of Feedback Schedule in Motor Performance and Learning of a Lumbar Multifidus Muscle Task Using Rehabilitative Ultrasound Imaging: A Randomized Clinical Trial Wendy J Herbert, Deborah Givens Heiss, D Michele Basso	Non identifica il trattamento specifico.
European Journal of Pain 12 (2008) 731-741 Comparison of psychological and physical function in neuropathic pain and nociceptive pain: Implications for cognitive behavioral pain management programs H. Clare Daniel, Jane Narewska, Michael Serpell, Barbara Hoggart, Robert Johnson, Andrew S.C. Rice	Non identifica il gruppo di pazienti idoneo.

**Tabella 2: Articoli esclusi in base a titolo ed abstract; stringhe di ricerca 'back pain and cortical changes, reorganisation and plasticity'**

Pubblicazione – Titolo – Autore	Criteri di esclusione
---------------------------------	-----------------------

Neurology 2006 Dec 26;67(12):2129-2134 Graded motor imagery for pathologic pain: a randomized controlled trial Moseley GL	Non identifica il gruppo di pazienti idoneo.
Journal of pain and symptom management 2010;39(5): 890-903 Anodal transcranial direct current stimulation of the motor cortex ameliorates chronic pain and reduces short intracortical inhibition. Antal A, Terney D, Kühnl S, Paulus W.	Valuta l'applicabilità della stimolazione transcraniale della corteccia motoria come trattamento al dolore cronico.
Current medical research and opinion 1984; 8(10): 734-42 Clinical trial of microcrystalline hydroxyapatite compound ('Ossopan') in the prevention of osteoporosis due to corticosteroid therapy. Pines A, Raafat H, Lynn AH, Whittington J	Non identifica il gruppo di pazienti idoneo.
Clinical rheumatology 2004; 23(5):383-9 Effects of alendronate on metacarpal and lumbar bone mineral density, bone resorption, and chronic back pain in postmenopausal women with osteoporosis. Iwamoto J, Takeda T, Sato Y, Uzawa M	Non identifica il gruppo di pazienti idoneo.
Neuroimage. 2011 Jan 15;54(2):1315-23 1H-MR spectroscopic detection of metabolic changes in pain processing brain regions in the presence of non-specific chronic low back pain. Gussew A, Rzanny R, Güllmar D, Scholle HC, Reichenbach JR.	Valuta le modificazioni metaboliche nelle regioni cerebrali in presenza di LBP.
Neuron. 2010 Apr 15;66(1):149-60 Predicting value of pain and analgesia: nucleus accumbens response to noxious stimuli changes in the presence of chronic pain Baliki MN, Geha PY, Fields HL, Apkarian AV.	Non identifica il trattamento specifico.
J Neurosurg Spine. 2010 Apr;12(4):357-71 Plasma disc decompression compared with fluoroscopy-guided transforaminal epidural steroid injections for symptomatic contained lumbar disc herniation: a prospective, randomized, controlled trial. Gerszten PC, Smuck M, Rathmell JP, Simopoulos TT, Bhagia SM, Mocek CK, Crabtree T, Bloch DA	Non identifica il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico. Valuta l'efficacia della decompressione discale.
Cephalalgia. 2008 Jan;28(1):1-4 Subtle grey matter changes between migraine patients and healthy controls. Schmidt-Wilcke T, Gänssbauer S, Neuner T, Bogdahn U, May A.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.
Med Hypotheses. 2008;70(5):1009-13 Neck pain causes respiratory dysfunction. Kapreli E, Vourazanis E, Strimpakos N.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.
Anticancer Res. 2007 Jul-Aug;27(4A):1917-20. Cortisol as a possible marker of metastatic adrenocortical carcinoma: a case report with 3-year follow-up. Schwarte S, Brabant EG, Bastian L, Bruns F.	Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.
Neurosurg Focus. 2006 Dec 15;21(6):E8. Deep brain stimulation for the treatment of various chronic pain syndromes. Rasche D, Rinaldi PC, Young RF, Tronnier VM.	Non identifica il trattamento specifico. Valuta l'applicabilità della stimolazione profonda.

<p>Eur Spine J. 2007 Jul;16(7):925-31  Relation of inflammatory modic changes to intradiscal steroid injection outcome in chronic low back pain.  Fayad F, Lefevre-Colau MM, Rannou F, Quintero N, Nys A, Macé Y, Poiraudau S, Drapé JL, Revel M.</p>	<p>Non identifica il trattamento specifico.</p>
<p>Br J Radiol. 2006 Aug;79(944):e67-70.  Unusual CT/MR features of putative ligamentum flavum ossification in a North African woman.  Jaffan I, Abu-Serieh B, Duprez T, Cosnard G, Raftopoulos C.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Int Orthop. 2007 Feb;31(1):121-4  Sacroiliac joint tuberculosis.  Ramlakan RJ, Govender S.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Pain. 2006 Jul;123(1-2):187-92. Epub 2006 Apr 17.  Changes to somatosensory detection and pain thresholds following high frequency repetitive TMS of the motor cortex in individuals suffering from chronic pain.  Johnson S, Summers J, Pridmore S.</p>	<p>Non identifica il trattamento specifico. Valuta l'applicabilità della stimolazione transcraniale.</p>
<p>Anesth Analg. 2006 Apr;102(4):1164-8  Magnetic resonance spectroscopy detects biochemical changes in the brain associated with chronic low back pain: a preliminary report.  Siddall PJ, Stanwell P, Woodhouse A, Somorjai RL, Dolenko B, Nikulin A, Bourne R, Himmelreich U, Lean C, Cousins MJ, Mountford CE.</p>	<p>Non identifica il trattamento specifico.</p>
<p>Endocr J. 2005 Dec;52(6):785-8  Abrupt enlargement of adrenal incidentaloma: a case of isolated adrenal metastasis.  Miyoshi T, Otsuka F, Suzuki J, Inagaki K, Kano Y, Ogura T, Kiura K, Saika T, Makino H.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>BMC Surg. 2005 May 28;5:12.  Postoperative Delirium after elective and emergency surgery: analysis and checking of risk factors. A study protocol.  Agnoletti V, Ansaloni L, Catena F, Chattat R, De Cataldis A, Di Nino G, Franceschi C, Gagliardi S, Melotti RM, Potalivo A, Taffurelli M.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>J Clin Oncol. 2005 Mar 20;23(9):2028-37  Systematic review of the diagnosis and management of malignant extradural spinal cord compression: the Cancer Care Ontario Practice Guidelines Initiative's Neuro-Oncology Disease Site Group.  Loblaw DA, Perry J, Chambers A, Laperriere NJ.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Eur J Pain. 2005 Apr;9(2):185-94.  Brain processing of tonic muscle pain induced by infusion of hypertonic saline.  Thunberg J, Lyskov E, Korotkov A, Ljubisavljevic M, Pakhomov S, Katayeva G, Radovanovic S, Medvedev S, Johansson H.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Neuroimage. 2004 Sep;23(1):392-401.  Cerebral activation during hypnotically induced and imagined pain.  Derbyshire SW, Whalley MG, Stenger VA, Oakley DA.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>

<p>Arch Intern Med. 2004 May 24;164(10):1084-91. Benefits of 2 years of intense exercise on bone density, physical fitness, and blood lipids in early postmenopausal osteopenic women: results of the Erlangen Fitness Osteoporosis Prevention Study (EFOPS). Kemmler W, Lauber D, Weineck J, Hensen J, Kalender W, Engelke K.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>J Neurophysiol. 2004 Jun;91(6):2723-33 fMRI measurement of CNS responses to naloxone infusion and subsequent mild noxious thermal stimuli in healthy volunteers. Borras MC, Becerra L, Ploghaus A, Gostic JM, DaSilva A, Gonzalez RG, Borsook D.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Spine (Phila Pa 1976). 2003 May 1;28(9):E161-4 Vertebral osteonecrosis related to intradiscal electrothermal therapy: a case report. Schöll BM, Theiss SM, Lopez-Ben R, Kraft M.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Drugs Aging. 2003;20(1):23-57 Demographics, assessment and management of pain in the elderly. Davis MP, Srivastava M.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Brain Cogn. 2002 Jun;49(1):102-13. Decreased levels of N-acetylaspartate in dorsolateral prefrontal cortex in a case of intractable severe sympathetically mediated chronic pain (complex regional pain syndrome, type I). Grachev ID, Thomas PS, Ramachandran TS.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Neuroimage. 2002 May;16(1):158-68. Cerebral responses to noxious thermal stimulation in chronic low back pain patients and normal controls. Derbyshire SW, Jones AK, Creed F, Starz T, Meltzer CC, Townsend DW, Peterson AM, Firestone L.</p>	<p>Non identifica il trattamento specifico.</p>
<p>J Manipulative Physiol Ther. 2002 Jan;25(1):1-9 First Prize: Central motor excitability changes after spinal manipulation: a transcranial magnetic stimulation study. Dishman JD, Ball KA, Burke J.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>J Neurosurg. 2001 Jul;95(1 Suppl):1-4 Threaded cortical bone dowels for lumbar interbody fusion: over 1-year mean follow up in 28 patients. Barnes B, Rodts GE, McLaughlin MR, Haid RW Jr.</p>	<p>Non identifica né il gruppo di pazienti idoneo né trattamento specifico.</p>
<p>Neuroscience Letters 1997, 224: 5-8 Extensive reorganization of primary somatosensory cortex in chronic back pain patients Flor H., Braun C., Elbert T., Birbaumer N.</p>	<p>Non rientra nell'intervallo temporale stabilito dalla selezione.</p>

La seconda selezione è stata effettuata successivamente alla lettura integrale degli articoli rimasti in seguito alla precedente selezione. Sono quindi stati esclusi dalla revisione n. 7 articoli, i cui risultati sono da considerarsi non pertinenti all'obiettivo ultimo di tale indagine.

**Tabella 3: Articoli esclusi in base a lettura full-text**

Publicazione- Titolo- Autore	Criteri di esclusione
<p><b>Motor control learning in chronic low back pain</b> Magnusson ML, DrMedSc, Chow DH, Diamandopoulos Z, Pope MH e MSc, PhD, DrMedSc, DSc Spine 2008 vol. 33, 16: 532-538</p>	<p>Non pertinente con obiettivo review: valuta l'efficacia del biofeedback nel trattamento del LBP.</p>
<p><b>Physical conditioning programs for improving work outcomes in workers with back pain (Review)</b> Schaafsma F, Schonstein E, Whelan KM, Ulvestad E, Kenny DT, Verbeek JH <i>The Cochrane Library</i> 2011, Issue 2</p>	<p>Non pertinente all' obiettivo review: verifica l'efficacia di un programma fisico ri-condizionante nel ridurre il tempo di assenteismo lavorativo in soggetti con LBP.</p>
<p><b>Isometric force production parameters during normal and experimental low back pain conditions</b> Martin Descarreaux, Jean-Sebastien Blouin, Normand Teasdale BMC Musculoskeletal Disorders 2005, 6:6</p>	<p>Non pertinente con obiettivo review: valuta se la stimolazione dolorosa, indotta mediante stimolazione elettrica cutanea, può produrre un cambiamento nelle strategie di controllo o nella forza isometrica prodotta dai muscoli del tronco.</p>
<p><b>Patients with Pain Disorders Show Gray-Matter Loss in Pain-Processing Structures: A Voxel-Based Morphometric Study</b> Valet M., Gundel H., Sprenger T., Sorg C., Muhlau M., Zimmer C., Henningsen P., Tolle T.R. <i>Psychosomatic Medicine</i> 2009, 71: 49-56</p>	<p>Non pertinente con la popolazione presa in considerazione dalla review.</p>
<p><b>Evidence of Augmented Central Pain Processing in Idiopathic Chronic Low Back Pain</b> Giesecke T., Gracely R.H., Grant M.A.B., Nachemson A., Petzke F., Williams D.A., Clauw D.J. <i>Arthritis &amp; Rheumatism</i> 2004, 50: 613-623</p>	<p>Non pertinente all'obiettivo review: verifica l'iperalgnesia e l'alterazione dei processi cerebrali in caso di CLBP, evidenziando la presenza di un incremento centrale dei processi di dolore in tali condizioni.</p>
<p><b>Mean sustained pain levels are linked to hemispherical side-to-side differences of primary somatosensory cortex in the complex regional pain syndrome I</b> Pleger B., Tegenthoff M., Schwenkreis P., Janssen F., Ragert P., Dinse H.R., Volker B., Zenz M., Maier C. <i>Exp Brain Res</i> 2004, 155: 115-119</p>	<p>Non pertinente con la popolazione presa in considerazione dalla review.</p>
<p><b>Tactile thresholds are preserved yet complex sensory function is impaired over the lumbar spine of chronic non-specific low back pain patients: a preliminary investigation</b> Wand B.M., Di Pietro F., George P., O'Connell N.E. <i>Physiotherapy</i> 2010, 96: 317-323</p>	<p>Non pertinente all'obiettivo review: indaga l'eventuale alterazione di percezione del rachide in pazienti con CLBP.</p>

Vengono ora riportati, in modo più dettagliato, gli articoli utilizzati per la presente revisione della letteratura.

TITOLO AUTORE	RIVISTA ANNO TIPO di STUDIO RIFERIMEN TO BIBLIOGRA FICO	OBIETTIVO STUDIO MISURE OUTCOME	MATERIALI METODI	RISULTATI
<p>Descarreaux M., Lalonde C., Normand M.C.</p> <p><b>Isometric force parameters and trunk muscle recruitment strategies in a population with low back pain</b></p>	<p>J Manipulative Physiol Ther</p> <p>2007</p>	<p>Studio caso-controllo nel quale si valuta se le strategie di reclutamento muscolare del tronco sono modificate simultaneamente agli adattamenti delle forze isometriche di controllo.</p> <p>VAS (Visual Analogic Scale) ODI (Oswestry Disability Index)</p>	<p>14 soggetti con LBP cronico aspecifico e 15 soggetti di controllo; elettrodi bipolari di superficie applicati unilateralment e sulla superficie di erector spinae tra L2-L3, multifido lombare destro L5-S1, retto addominale destro e obliquo esterno destro.</p>	<p>Tempo medio per il picco di forza superiore nei soggetti con LBP; incremento durata di attivazione dei 4 muscoli registrati.</p>
<p>Descarreaux M., Blouin J-S., Teasdale N.</p> <p><b>Force production parameters in patients with low back pain and healthy control study participants</b></p>	<p>Spine</p> <p>2009</p>	<p>Studio caso-controllo nel quale si valuta se la contrazione isometrica in flessione ed in estensione in pazienti con LBP è sovrapponibile per accuratezza e controllo a quella di soggetti sani.</p> <p>VAS (Visual Analogic Scale) ODI (Oswestry Disability Index)</p>	<p>16 soggetti con LBP cronico aspecifico e 15 soggetti di controllo; strumentazione e per test isometrico.</p>	<p>Forze isometriche sviluppate da soggetti con LBP con la stessa accuratezza dei casi controllo; incremento intervallo di tempo per picco di forza.</p>

<p>Descarreaux M., Blouin J-S., Teasdale N.</p> <p><b>Isometric force production parameters during normal and experimental low back pain conditions</b></p>	<p><i>BMC Musculoskeletal Disorders</i></p> <p>2005</p>	<p>Studio caso-controllo in cui si identifica l'eventuale modificazione della produzione di forza isometrica del tronco in presenza di LBP.</p>	<p>10 soggetti; strumentazione e per test isometrico.</p>	<p>Evidenza come le strategie motorie di adattamento al LBP sono implementate e gradualmente nel tempo.</p>
<p>Descarreaux M., Blouin J-S., Teasdale N.</p> <p><b>Repositioning accuracy and movement parameters in low back pain subjects and healthy control subjects</b></p>	<p><i>Eur Spine J</i></p> <p>2005</p>	<p>Studio caso-controllo in cui si valutano i parametri di riposizionamento del tronco in pazienti sani e con LBP cronico.</p> <p>VAS (Visual Analogic Scale) ODI (Oswestry Disability Index)</p>	<p>16 soggetti con LBP cronico aspecifico e 15 soggetti di controllo; rilevazione movimenti del tronco mediante strumento riabilitativo.</p>	<p>Dopo un periodo di apprendimento motorio, si rileva in pazienti con LBP la stessa modalità di riproduzione di movimento riscontrata nei soggetti sani.</p>
<p>Tsao H., Hodges P.W.</p> <p><b>Persistence of improvements in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain</b></p>	<p><i>Journal of Electromyography and Kinesiology</i></p> <p>2008</p>	<p>Investigare gli effetti a lungo termine del training sul controllo posturale utilizzando il modello di deficit nell'attivazione del TrA in persone con LBP ricorrente.</p> <p>VAS (Visual Analogic Scale) PSFS (Patient-specific functional scale)</p>	<p>Studio condotto su 9 pazienti con LBP unilaterale o bilaterale; attività elettromiografica registrata mediante elettrodi bipolari intramuscolari inseriti nel trasverso dell'addome, obliquo esterno ed obliquo interno.</p>	<p>Si rileva la persistenza dei cambiamenti del controllo motorio in seguito a training; tale training conduce ad un apprendimento motorio di strategie di controllo posturali automatiche.</p>

<p>O'Sullivan P.B., Beales D.J.</p> <p><b>Changes in pelvic floor and diaphragm kinematics and respiratory patterns in subjects with sacroiliac joint following a motor learning intervention: a case series</b></p>	<p>Manual Therapy</p> <p>2007</p>	<p>Case series study il cui obiettivo è di investigare la capacità di un intervento di <i>motor learning</i> di modificare la cinematica alterata di diaframma e pavimento pelvico in soggetti con SIJP.</p> <p>ASLR (Active Straight leg raise)</p>	<p>Studio condotto su 9 pazienti.</p>	<p>Identifica l'efficacia di un intervento di motor learning per migliorare le strategie di controllo motorio in pazienti con SIJP, ed una riduzione di dolore e disabilità.</p>
<p>Tsao H., Galea M.P., Hodges P.W.</p> <p><b>Driving plasticity in the motor cortex in recurrent low back pain</b></p>	<p>European Journal of Pain 14</p> <p>2010</p>	<p>Esaminare se il <i>motor training</i> può indurre cambiamenti nell'organizzazione corticale motoria, e se questi cambiamenti sono associati con modificazioni nell'attivazione posturale di muscoli allenati.</p> <p>VAS (Visual Analogic Scale) PSFS (Patient-specific functional scale)</p>	<p>Studio condotto su 20 pazienti con NS-LBP sostenuto per almeno 3 mesi o almeno due episodi di LBP negli ultimi 6 mesi. Attività elettromiografi a TrA registrata bilateralmente utilizzando elettrodi intramuscolari. L'eccitabilità e l'organizzazione degli input corticospinali dal TrA alla corteccia motoria sono esaminati mediante stimolazione magnetica trans craniale (TMS)</p>	<p>Evidenza come la capacità di <i>motor training</i> può portare plasticità nel sistema motorio ed è associata ad un aumento della coordinazione motoria nei pazienti con LBP; è inoltre efficace nella riduzione del dolore nei pazienti con LBP ricorrente.</p>
<p>Tsao H., Galea M.P., Hodges P.W.</p>	<p>Brain</p> <p>2008</p>	<p>Investigare cambiamenti nell'attivazione</p>	<p>Attività EMG TrA registrata bilateralmente</p>	<p>Evidenza la riorganizzazione della</p>

<p><b>Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain</b></p>		<p>posturale del TrA nelle persone con LBP ricorrente, l'eccitabilità e l'organizzazione della rete corticale motoria che induce l'attivazione del TrA comparando individui sani con gruppo LBP. Determinare se la riorganizzazione corticale è associata a cambiamenti nell'attivazione posturale dei muscoli del tronco.</p>	<p>mediante elettrodi intramuscolari</p>	<p>rete corticale motoria associata all'attivazione della muscolatura profonda del tronco (TrA); tale modificazione della corteccia può contribuire ad un'alterazione delle strategie posturali.</p>
<p>Herta Flor</p> <p><b>Cortical reorganization and chronic pain: implications for rehabilitation</b></p>	<p>J Rehabil Med 2003</p>	<p>Analizzare le modificazioni corticali in presenza di dolore cronico.</p>	<p>Non specificati</p>	<p>Modificare la plasticità corticale in presenza di dolore cronico mediante interventi comportamentali che forniscono feedback alle aree corticali.</p>
<p>Herta Flor</p> <p><b>The Modification of Cortical Reorganization and Chronic Pain by Sensory Feedback</b></p>	<p>Applied Psychophysiology and Biofeedback 2002</p>	<p>Analizzare le alterazioni nell'organizzazione somatotopica della corteccia somatosensoriale primaria in relazione al dolore cronico</p>	<p>Non specificati</p>	<p>Evidenza come cambiamenti neuroplastici del sistema nervoso centrale hanno un ruolo importante nello sviluppo e nel mantenimento del dolore cronico.</p>
<p>Van Vliet P.M., Heneghan N.R.</p>	<p>Manual Therapy 2006</p>	<p>Analizzare alcuni risultati ottenuti mediante l'implementazione di</p>	<p>—</p>	<p>Suggerisce un modello di training basato sul</p>

<p><b>Motor control and the management of musculoskeletal dysfunction</b></p>		<p>controllo motorio: meccanismo di feedforward, plasticità corticale e compito-specifico.</p>		<p>programma motorio e quindi sui meccanismi di feedback e feedforward.</p>
<p>Wand B.M., O'Connell N.E.</p> <p><b>Chronic non-specific low back pain – sub-groups or a single</b></p>	<p><i>BMC Musculoskeletal Disorders</i></p> <p>2008</p>	<p>Trials clinici.</p>	<p>—</p>	<p>Suggerisce come le modificazioni corticali in pazienti con CLBP possano incidere sullo sviluppo e sul mantenimento della sintomatologia stessa.</p>
<p>Wand B.M., Parkitny L., O'Connell N.E., Luomajoki H., McAuley J.H., Thacker M., Moseley G.L.</p> <p><b>Cortical changes in chronic low back pain: Current state of the art and implications for clinical practice.</b></p>	<p>Manual Therapy</p> <p>2011</p>	<p>Revisione che analizza le modificazioni strutturali e funzionali corticali osservate in pazienti con CLBP.</p>	<p>—</p>	<p>Riduzione della sostanza grigia nella corteccia dorsolaterale prefrontale e nella corteccia somatosensoriale; localizzazione TrA shiftata nella corteccia motoria.</p>
<p>Tsao H., Hodges P.W.</p> <p><b>Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training</b></p>	<p>Exp Brain Res</p> <p>2007</p>	<p>Verificare se un training motorio basato sull'attivazione muscolare volontaria può modificare i meccanismi di feedforward e se questo dipende dalla modalità di training.</p>	<p>Attività EMG registrata mediante elettrodi bipolari intramuscolari : obliquo esterno, obliquo interno, retto dell'addome e TrA.</p>	<p>Evidenza come un training motorio di attivazione muscolare isolata conduce a cambiamenti nelle strategie posturali anticipatorie</p>

				, e la quantità di effetti dipende dal tipo e dalla qualità di motor training.
<p>Bodreau S.A., Farina D., Falla D.</p> <p><b>The role of motor learning and neuroplasticity in designing rehabilitation approaches for musculoskeletal pain disorders</b></p>	<p>Manual Therapy</p> <p>2010</p>	<p>Review in cui sono discussi i cambiamenti neuroplastici corticali i quali, è stato dimostrato, avvengono in associazione a disordini dolorosi sperimentali o cronici e il ruolo di un nuovo motor-skill training nella riabilitazione di pazienti con dolore muscoloscheletrico. Evidenziare le componenti chiave del motor-skill training che forniscono il maggiore potenziale di successo riabilitativo.</p>	—	<p>Evidenzia le modificazioni corticali neuroplastiche che si riscontrano in presenza di CLBP e il ruolo fondamentale del training basato sul motor control and learning come strategia riabilitativa.</p>
<p>Jacobs J.V., Henry S.M., Nagle K.J.</p> <p><b>Low back pain associates with altered activity of the cerebral cortex prior to arm movements that require postural adjustment</b></p>	<p>Clinical Neurophysiology</p> <p>2010</p>	<p>Determinare se la condizione di LBP è associato con la stabilizzazione posturale alterata ed i cambiamenti corticali.</p> <p>NPRS (Numeric Pain Rating Scale) MODI (Modified Oswestry Disability Index)</p>	<p>Registrazione attività elettromiografica.</p>	<p>L'attività cerebrocorticale risulta essere alterata durante i movimenti APA negli individui con CLBP.</p>
<p>Schmidt-Wilke T., Leinisch E. et al</p> <p><b>Affective components</b></p>	<p>Pain</p> <p>2006</p>	<p>Evidenziare l'eventuale correlazione tra LBP cronico e alterazioni nella struttura morfologica cerebrale.</p>	<p>Studio condotto su 18 pazienti con LBP cronico e 18 soggetti sani; rilevazione</p>	<p>Evidenzia come la nocicezione sia correlata con la riorganizzazioni</p>

<p><b>and intensity of pain correlate with structural differences in gray matter in chronic back pain patients</b></p>			<p>mediante VBM (voxel-based morphometry)</p>	<p>corticale, con un importante associazione alla cronicizzazione.</p>
--	--	--	---	--

## LOW BACK PAIN AND MOTOR LEARNING

Il termine *'motor learning'* identifica la modalità di apprendimento motorio con la quale si induce il ripristino di un corretto pattern e di una specifica programmazione motoria negli individui in cui tale condizione si è rivelata deficitaria per la presenza di dolore cronico.

Il controllo motorio è gestito da tre sistemi interdipendenti tra loro, ciascuno dei quali di fondamentale importanza, la cui disfunzione può causare deficit funzionali di diversa entità. Questi 3 sistemi sono identificati come sistema somatosensoriale, sistema visivo e sistema vestibolare: complessivamente forniscono gli input sensoriali necessari ad impostare ed iniziare il movimento, ed inviano feedback per la modulazione del movimento stesso.

Più specificatamente, il sistema somatosensoriale fornisce le informazioni inerenti alla posizione del tronco e degli arti, tra cui i parametri di tensione, lunghezza muscolare, angolo articolare e velocità di movimento. Il sistema vestibolare provvede, invece, alla modulazione dei movimenti del capo e delle variazioni nella direzione di movimento, mentre il sistema visivo, in associazione al somatosensoriale, assume un ruolo di fondamentale importanza nell'aspetto propriocettivo motorio.

Le modificazioni neurofisiologiche, anatomiche, psicosociali e di controllo sensomotorio sono caratteristiche peculiari dei pazienti con LBP e, secondo alcuni autori, dovrebbero essere considerate parte integrante della condizione di LBP cronico. Recenti evidenze, infatti, hanno rilevato nei pazienti con LBP cronico un deficit propriocettivo e di controllo motorio del tronco con modificazioni del controllo posturale, ritardo nella risposta muscolare a carichi imprevisti ed un incremento degli errori di riposizionamento (10). Di fatto, alcuni aggiustamenti posturali sviluppati

durante la fase acuta al fine di evitare il dolore possono sfociare in variazioni dell'attività muscolare del tronco con un'attivazione priva di equilibrio e sinergia tra i differenti gruppi muscolari. Oltre a ciò, è opportuno considerare alcuni fenomeni degenerativi come l'atrofia delle fibre di tipo II, il decremento di forza e di resistenza muscolare che possono pertanto inficiare maggiormente il controllo motorio in caso di LBP, soprattutto in fase cronica.

Partendo quindi dal presupposto che in soggetti con LBP la propriocezione e la pianificazione motoria sono alterate, si può giustamente ipotizzare una sostanziale differenza tra i parametri di produzione di forza tra soggetti sani e soggetti con LBP. *Descarreaux et al* hanno considerato importante valutare tale rapporto causa-effetto in soggetti con LBP e in individui sani osservando la forza prodotta isometricamente durante i movimenti di flessione-estensione, e valutando eventuali variazioni nell'accuratezza di movimento e di controllo motorio (11). I risultati ottenuti hanno rilevato una sostanziale sovrapposizione e congruenza tra il livello di accuratezza dei partecipanti al gruppo di controllo ed i pazienti che presentavano LBP. Ciò che differenziava i due gruppi era una maggiore latenza nel raggiungimento del picco di forza in coloro che appartenevano al sottogruppo di LBP (420 vs 299 millisecondi). Tale latenza nel picco di forza può essere considerata come specifica conseguenza di una strategia di controllo sviluppata e modificata in seguito ad un'esposizione cronica al dolore, che si associa ad un incremento dell'attività elettromiografica dei muscoli superficiali del tronco.

I risultati di questo studio suggeriscono pertanto l'attuazione di strategie compensatorie nei soggetti con LBP cronico, i quali modificano i loro parametri di produzione di forza anticipatoria e adottano un controllo a 'ciclo-chiuso'. Per cui risulta essere valida l'ipotesi secondo cui l'adattamento al dolore in fase acuta conduce ad aggiustamenti posturali con modificazioni dell'attività muscolare del tronco e ad un'alterazione della pianificazione motoria, che in condizioni di cronicità diventa fisiologica.

Partendo quindi dal presupposto che i soggetti con LBP possono modificare la loro strategia motoria al fine di raggiungere la stessa precisione di movimento dei soggetti sani, si può ipotizzare che gli individui con LBP cronico presentino di conseguenza un adattamento nelle loro strategie di reclutamento muscolare del tronco, come un aumento della durata del segnale ed una modulazione dell'attività elettromiografica (EMG).

I risultati ottenuti da *Descarreaux et al* in uno studio successivo (12) evidenziano come i soggetti con LBP che attivano adattamenti nelle strategie di controllo, non solo presentano un incremento del tempo di raggiungimento del picco di forza, ma modificano la durata di attivazione muscolare e modulano l'attività di agonisti e antagonisti.

Gli stessi autori, in un ulteriore studio (13), hanno osservato che, per ottenere l'accuratezza di movimento precedentemente descritta, i soggetti con LBP utilizzano alcune specifiche strategie di controllo; in particolare, aumentano il tempo di esecuzione del movimento incrementando la durata della fase di decelerazione. Tale esito potrebbe essere ricondotto ad un utilizzo mirato delle informazioni propriocettive e ad una diminuzione della stiffness muscolare e delle forze compressive prodotte degli erettori spinali.

E' quindi facilmente deducibile come il reclutamento muscolare assuma un ruolo di fondamentale importanza nelle strategie di controllo.

Alcuni studi effettuati su soggetti sani hanno rilevato un'attivazione anticipatoria del muscolo addominale profondo, conosciuto come trasverso dell'addome (TrA). Tale attivazione si instaura precedentemente al movimento degli arti ed è indipendente dalla richiesta di movimento (velocità, carico e direzione) e dall'attivazione degli altri muscoli addominali superficiali. Contrariamente, in persone con LBP non risulta anticipatoria ma ritardata, e di carattere fasico e non tonico, come solitamente si rileva in soggetti sani.

Pertanto il modello di trattamento basato sull'apprendimento motorio risulta essere un comune approccio clinico di dimostrata efficacia nel trattamento delle disfunzioni muscoloscheletriche, in particolare in presenza di LBP. Secondo quanto sperimentato da *Tsao e Hodges* (14) tale training si basa sull'attivazione dei muscoli con pattern disfunzionale mediante contrazioni volontarie isolate ripetute. I risultati ottenuti da tale studio condotto su 9 pazienti con LBP sottoposti a quattro sessioni di training conducono all'ipotesi che l'attivazione ripetuta possa indurre cambiamenti plastici del sistema nervoso ed una modificazione automatica del reclutamento del muscolo allenato durante l'esecuzione di compiti funzionali privi di specifico addestramento.

In un ulteriore studio, *O'Sullivan e Beales* (2006) hanno introdotto e applicato un intervento di apprendimento motorio diretto alla stabilizzazione locale dei muscoli lombo pelvici in pazienti con dolore all'articolazione sacroiliaca (SIJP), in cui si

documentava diminuzione del movimento diaframmatico, aumento della discesa del pavimento pelvico, aumento della frequenza respiratoria e alterato pattern cardiaco (15). Da quanto osservato, l'applicazione del training di controllo motorio ha condotto alla normalizzazione delle strategie di reclutamento alterate e ad una riduzione del dolore e della disabilità (minore discesa pavimento pelvico e aumento escursione diaframmatica).

E' quindi possibile dedurre come l'apprendimento motorio sia un'adeguata strategia per il ripristino di una corretta stabilizzazione del rachide e che tale modalità riabilitativa necessita di modificazioni permanenti nel reclutamento muscolare; in tal modo sarà possibile rilevare variazioni di controllo del sistema nervoso centrale.

#### CHRONIC LOW BACK PAIN AND CORTICAL REORGANISATION

L'apprendimento è la condizione necessaria per il completo ripristino delle funzioni alterate e può essere favorito dalla riabilitazione. L'obiettivo della presente revisione della letteratura è di identificare gli effetti, in termini di riorganizzazione, del training di apprendimento motorio ('motor learning') sulla corteccia cerebrale in una popolazione specifica di pazienti. Dalla ricerca bibliografica condotta in alcune banche dati elettroniche è stato sin qui possibile indagare in maniera più approfondita uno dei disordini muscoloscheletrici maggiormente diffuso, il LBP. Più specificatamente il LBP cronico, condizione definita dalle linee guida come LBP protratto oltre le 12 settimane, si associa ad una riorganizzazione corticale con modificazioni del controllo motorio. Tale condizione di dolore e disabilità può essere modificata mediante l'implementazione di un corretto e definito training di apprendimento motorio, identificato come 'motor learning', sino al ripristino della condizione fisiologica. Sulla base di questi presupposti, si procede ora con l'analisi dei risultati ottenuti sulla correlazione tra *chronic low back pain* e le eventuali modificazioni plastiche che tale condizione può indurre a livello corticale.

Come precedentemente accennato, il training basato sul modello di 'motor learning', che induce a modificazioni della coordinazione motoria, è raccomandato in quanto permette la riduzione del dolore, della disabilità e delle recidive per numerose

condizioni muscoloscheletriche. A ciò segue il ripristino di quegli aggiustamenti posturali automatici che si associano alle variazioni di postura. Sapendo quindi che il controllo posturale implica una rete neuronale disposta su più livelli, è evidente come la corteccia motoria occupi un ruolo critico nel controllo motorio posturale.

Infatti, alcuni dati evidenziano come l'inibizione della corteccia motoria possa ridurre l'attività posturale dei muscoli del tronco in associazione a movimenti volontari degli arti (16): ciò è quanto si verifica in coloro che manifestano una condizione di LBP. Di conseguenza è possibile ricondurre il deficit di attivazione posturale che si riscontra in pazienti con LBP a modificazioni rilevanti dell'eccitabilità e dell'organizzazione corticale motoria. Attuali studi di neuro immagine hanno evidenziato alterazioni strutturali e funzionali all'interno del cervello in persone con dolore muscoloscheletrico cronico, per cui si suppone che questi cambiamenti potrebbero contribuire allo sviluppo ed al mantenimento dello stato di dolore cronico. Pertanto è opportuno, in tale revisione, approfondire ed indagare come il LBP cronico aspecifico incida sulla riorganizzazione corticale.

In due studi condotti da *Flor H.* nel 2002 e 2003 è stata registrata un'iperattività agli stimoli tattili e nocicettivi in pazienti con LBP cronico: la soglia del dolore, di fatto, continuava a ridursi sino al raggiungimento dello stadio cronico (17) (18). Innegabilmente alcuni meccanismi spinali periferici di controllo del dolore sono da considerarsi implicati in tali alterazioni della nocicezione, ma anche la riorganizzazione corticale è di notevole rilevanza. Infatti *Flor* ha riscontrato una modificazione della mappa somatotopica nella corteccia somatosensoriale (S1) in presenza di dolore cronico che è possibile ricondurre allo sviluppo di un processo di memorizzazione del dolore.

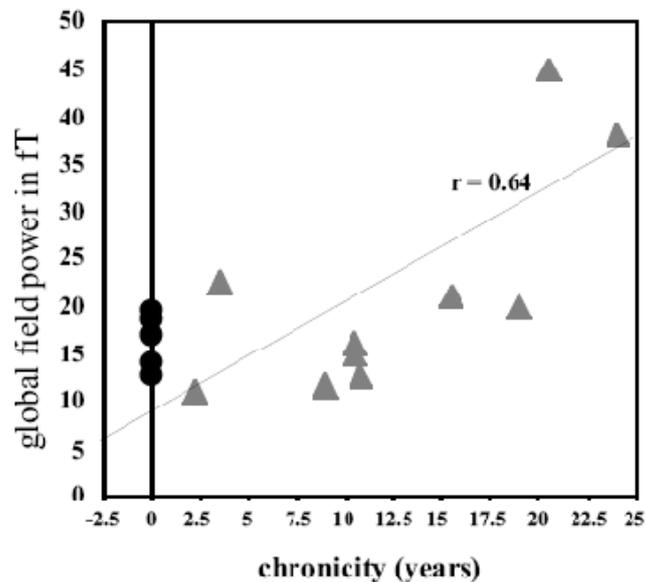


Figura 1: Potenza dei campi magnetici evocati correlati a stimolazione dolorosa rilevata in presenza di cronicizzazione del dolore: maggiore cronicità è associata ad alti livelli di attività cerebrale, indicativi di una traccia di memoria correlata al dolore.  $\blacktriangle$  : pazienti con dolore cronico  $\bullet$  : soggetti controllo sani fT: femtotesla (Flor)

Tale implementazione conduce allo stato di iperalgesia precedentemente segnalato e ad un ritardo aspecifico nell'attivazione in seguito a stimoli, indicando pertanto una disinibizione della corteccia in presenza di dolore cronico. Inoltre i sistemi inibitori del dolore, essendo influenzati dalla memoria e dai processi di apprendimento, possono essere alterati in caso di dolore cronico.

Quindi, i dati riportati da tale ricercatrice suggeriscono che il dolore cronico conduce allo sviluppo di una memoria del dolore che si traduce in un'alterazione della mappa della corteccia somatosensoriale e ad un'espansione della rappresentazione corticale stessa, associata all'incremento dell'eccitabilità corticale. Ciò può pertanto contribuire significativamente alla riorganizzazione corticale.

In un successivo debate redatto da *Wand* e *O'Connell* è confermata l'eventualità, precedentemente esposta da *Flor*, per cui pazienti con CNSLBP (chronic non - specific low back pain) mostrano un'alterazione nella funzione nervosa (1). Mediante l'utilizzo di un diagramma di flusso è possibile intuire come in presenza di CNSLBP vi sia una conseguente disfunzione corticale.



cronico esibiscono un ritardo di attivazione degli APA dei muscoli addominali durante il sollevamento degli arti superiori.

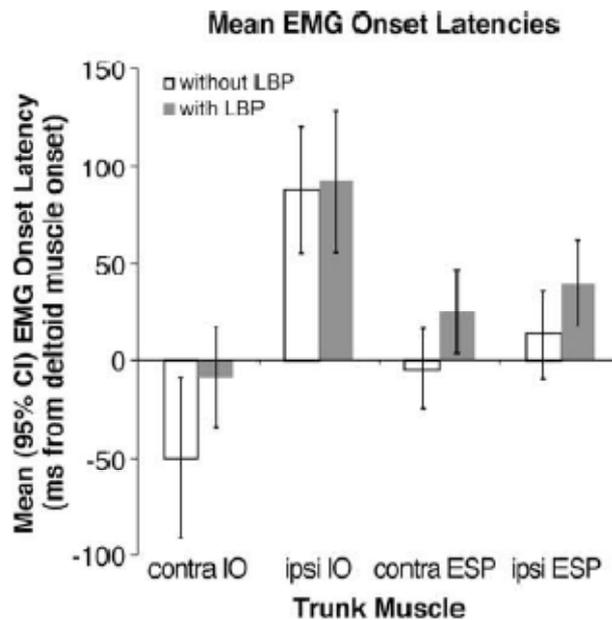


Figura 3: registrazione elettromiografica della latenza di attivazione dei muscoli IO (obliquo interno) e ESP (erector spinae) controlaterali e ipsilaterali al movimento degli arti nei partecipanti con LBP (barra grigia) e senza LBP (barra vuota). (Jacobs et al)

Dato che specifiche regioni del sistema nervoso centrale risultano essere coinvolte nella generazione degli APA, è evidente che un ritardo di attivazione di tali aggiustamenti in questa popolazione di pazienti possa, ancora una volta, supportare la correlazione tra LBP e fisiologia cerebrocorticale motoria. Inoltre, il ritardo di attivazione degli APA addominali risulta essere proporzionale al grado di riorganizzazione e rimodellamento della rappresentazione dell'erector spinae all'interno della corteccia motoria primaria e supplementare. Questi dati confermano che gli individui con dolore cronico mostrano un'alterata attività cerebrocorticale che modifica l'introduzione degli APA durante i movimenti volontari con gli arti superiori.

Lo studio dal quale è possibile estrapolare informazioni maggiormente specifiche e attendibili è una revisione sistematica del 2011 pubblicata sulla rivista *Manual Therapy* nella quale si indagano i cambiamenti corticali in presenza di LBP cronico e i loro effetti sulla pratica clinica (21). All'interno di questa pubblicazione sono riportate ulteriori evidenze in merito alla riduzione della sostanza grigia nella corteccia dorsolaterale prefrontale, nella corteccia somatosensoriale, nella parietale posteriore e nel talamo. La rappresentazione corticale del trasverso dell'addome (TrA) risulta essere

localizzata più medialmente ed ha un'ampiezza maggiore in coloro che presentano CLBP: sia la variazione di localizzazione così come di volume sono da ricondurre alla ridotta attività del TrA durante gli aggiustamenti posturali (APA) indotti da movimenti rapidi degli arti superiori. Inoltre, questa popolazione di pazienti esibisce un deficit di propriocezione e una minore performance nei compiti richiesti; a tal proposito, le alterazioni nei pattern di reclutamento muscolare del tronco (tra cui il TrA) sono la manifestazione del disturbo di percezione corporea.

In base a tali evidenze è quindi possibile concludere che il CLBP si caratterizza di cambiamenti strutturali, funzionali e neurochimici il cui impatto a livello cerebrale può contribuire al mantenimento del dolore stesso e alla disfunzione patologica. Di conseguenza i trattamenti riabilitativi saranno impostati con l'obiettivo di normalizzare queste modificazioni, al fine di risultare efficaci nella riduzione di dolore e disabilità.

## CORTICAL PLASTICITY AND MOTOR LEARNING

Ad oggi vi sono poche conoscenze sulle varie modalità terapeutiche che possono influire sulla riorganizzazione corticale; l'apprendimento è la condizione necessaria affinché si raggiunga il ripristino delle funzioni alterate, o comunque l'adattamento a nuove strategie di compenso, tale requisito può essere implementato a seguito di uno specifico processo riabilitativo. A tal proposito, l'attenzione di tale revisione è stata posta sulle modalità con cui un processo di apprendimento motorio può modificare la struttura corticale.

Alcune importanti informazioni di base (background) possono essere estratte da una review inerente la riacquisizione del controllo motorio in pazienti con stroke, i cui dati ingegneristici possono essere trasposti alla categoria di pazienti da noi individuata (22).

Partendo dal presupposto che gli effetti di un allenamento sono compito-specifici, per ottenere un miglioramento complessivo dello stato di salute occorre intervenire sui differenti livelli di funzionalità. E' quindi corretto che un programma specifico di training sensomotorio si articoli su alcuni livelli:

- a) Training delle funzioni basiche (forza muscolare, range di movimento, tono, coordinazione);
- b) Capacità di allenamento ('skill training') cognitiva, associativa e autonoma;

c) Incremento dell'endurance a livello muscolare e/o cardiovascolare.

Questo tipo di impostazione coincide con l'approccio basato sull'apprendimento motorio ('motor learning') per il trattamento di pazienti con quadri di LBP cronico aspecifico, proposto da *Saunders*, e precedentemente esposto; risulta essere inoltre compatibile con i domini ICF in quanto si indirizza al recupero della funzione, attività e partecipazione.

Alcuni studi funzionali di neuroimmagine condotti su pazienti post-stroke hanno evidenziato un incremento dell'attività corticale sensomotoria omolaterale alla lesione e nella regione corticale motoria primaria in seguito ad un processo riabilitativo compito-specifico (task-oriented e CIMT) con conseguente influenza sugli outcome funzionali.

Altri studi suggeriscono uno spostamento dell'equilibrio di reclutamento verso l'emisfero non danneggiato, mentre altre ricerche osservano come il coinvolgimento della corteccia motoria ipsilaterale possa facilitare le strategie di compenso per la performance motoria. A seguito da tali risultati, l'approccio riabilitativo basato sull'apprendimento motorio sembra essere fondamentale per il recupero funzionale e deve essere impostato sulle conoscenze del controllo motorio, e quindi sul feedback dell'esecuzione del compito specifico. Diventa quindi importante fornire un feedback di corretta esecuzione motoria ed uno di scorretta esecuzione motoria al fine di incrementare la motivazione e facilitare la capacità di apprendimento.

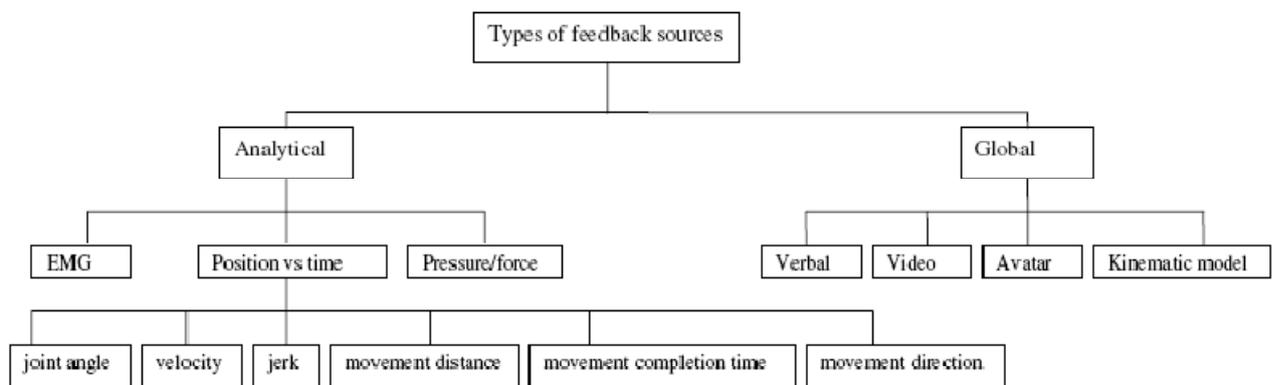


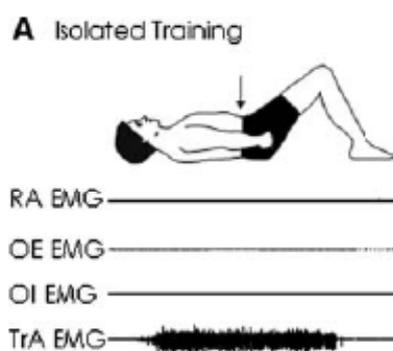
Figura 4: presentazione schematica delle diverse fonti di feedback per la performance motoria (*Timmermans et al*)

Entrambi i sistemi corticali di memoria, implicita (feedback intrinseco) ed esplicita (feedback estrinseco), contribuiscono in modo significativo all'apprendimento motorio.

Di conseguenza, è evidente come l'apprendimento motorio può essere ulteriormente incrementato nel momento in cui si instaurano dei criteri di progressione di feedback, che possono pertanto essere adattati ad alcuni pazienti e quindi maggiormente appropriati e specifici. Ciò è quanto si verifica nella popolazione con LBP cronico a cui viene introdotto un trattamento riabilitativo specifico di apprendimento e controllo motorio.

*Tsao e Hodges* hanno condotto uno studio mirato all'implementazione di uno specifico training su 22 pazienti con LBP ricorrente (23). In diversi studi, come già riportato, è stata dimostrata l'attivazione anticipatoria del muscolo profondo dell'addome, il trasverso (TrA), durante le perturbazioni indotte al tronco dal movimento degli arti. Questo meccanismo anticipatorio risulta considerevolmente diminuito in coloro che manifestano LBP e, nonostante tali modificazioni non siano limitate al TrA, il deficit di attivazione elettromiografica del TrA può essere considerato un importante segnale di disfunzione del controllo motorio del tronco.

Sapendo che il training motorio compito-specifico porta ad un consistente miglioramento della performance, basandosi sul principio del motor control and learning, *Tsao e Hodges* hanno introdotto, per la loro popolazione di pazienti, un training di ripristino dell'attivazione anticipatoria basato su contrazioni volontarie isolate del muscolo deficitario.



**Figura 5 - Training motorio: contrazioni isolate volontarie del TrA con ridotta attività elettromiografica (EMG) degli altri muscoli addominali OI: obliquo interno, OE: obliquo esterno, TrA: trasverso dell'addome (*Tsao & Hodges*)**

I risultati ottenuti mostrano come le attivazioni volontarie ripetute portino ad immediati cambiamenti nel reclutamento anticipatorio del muscolo trattato, anche durante compiti più complessi non specificatamente allenati. Il ripristino di tale meccanismo anticipatorio (feedforward) in pazienti con LBP può essere ricondotto ad una modificazione nella modalità in cui il SNC prepara il tronco durante la postura ed i movimenti dinamici. Dunque, è opportuno ipotizzare la presenza di cambiamenti plastici del sistema nervoso a più livelli, in seguito a training motorio; infatti, sono stati osservati cambiamenti nell'eccitabilità dei motoneuroni, nella corteccia motoria e sensomotoria, e nei processi cerebellari. Pertanto, tali regioni cerebrali sono da considerarsi siti di modificazione plastica indotta dall'apprendimento motorio, la cui acquisizione contribuisce al ripristino del corretto controllo posturale anticipatorio.

In due studi successivi, gli stessi autori con il supporto di altri ricercatori hanno indagato, con maggiore specificità, le modificazioni corticali su alcune popolazioni limitate di pazienti con LBP ricorrente.

Il primo studio pubblicato nel 2008 indica una variazione rilevante della soglia di attivazione motoria (MT= motor threshold): nei pazienti con LBP quella omolaterale risulta significativamente ridotta (16). Mentre nei pazienti sani vi era una notevole differenza di soglia d'attivazione tra risposte omolaterali e controlaterali, il gruppo con LBP, invece, non mostrava discrepanza: questi dati possono essere ricondotti ad una riduzione della regione eccitabile. Un ulteriore parametro di discriminazione tra i due gruppi di pazienti è individuabile nel Centro di Gravità (CoG): per centro di gravità si intende la misura che fornisce un'indicazione di ampiezza e di posizione di rappresentazione all'interno della mappa corticale di un determinato muscolo, e si calcola utilizzando il seguente algoritmo:  $CoG = \frac{\sum z_i x_i}{\sum z_i}, \frac{\sum z_i y_i}{\sum z_i}$ .

Il CoG del TrA all'interno della mappa corticale motoria risulta essere localizzato più posteriormente e lateralmente rispetto al CoG riscontrato nel gruppo di controllo.

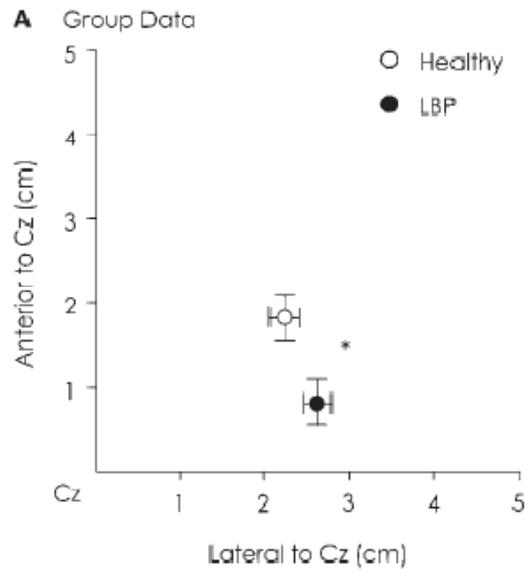


Figura 6 - Dati complessivi del CoG del TrA: la localizzazione del CoG del TrA nel gruppo LBP è localizzato posteriormente e lateralmente rispetto a quello del gruppo di controllo (*Tsao, Galea & Hodges*)

Questo shift posterolaterale nella rappresentazione motoria corticale del muscolo addominale profondo (TrA) è stato confermato nello studio successivo condotto da *Tsao* e *Hodges* su 20 pazienti con LBP cronico aspecifico (24). Partendo quindi dal presupposto che i soggetti con LBP quando svolgono movimenti rapidi con gli arti superiori in flessione o estensione hanno un'attività elettromiografica del TrA significativamente ritardata, anche la localizzazione del CoG subirà variazioni. Infatti, una più lenta attivazione del TrA si associa ad un CoG shiftato in sede posterolaterale. Per cui è possibile affermare che la proporzione di tale shift è correlata con l'entità del ritardo di attivazione del TrA, comune alterazione presente in questa popolazione di pazienti. Nello studio del 2008 è riportato anche l'incremento del volume della mappa corticale.

Tale studio conferma dunque le precedenti scoperte che identificavano la relazione tra l'attivazione feedforward del TrA ed i movimenti volontari degli arti superiori, e attesta l'eventualità che modificazioni nell'organizzazione corticale motoria possano contribuire al deficit di controllo motorio posturale anticipatorio.

Lo studio pubblicato da *Tsao* ed *Hodges* nel 2010 ha esaminato gli eventuali cambiamenti nell'organizzazione corticale indotti da un training di motor control and learning della durata di due settimane, raffrontandolo con un training di cammino (24).

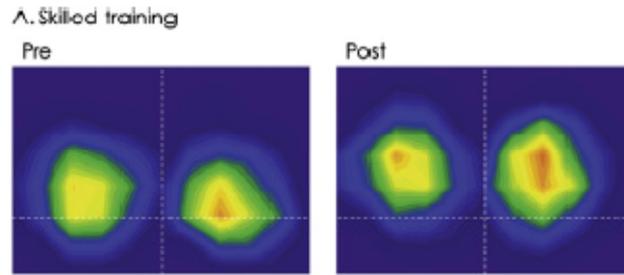


Figura 7 - Rappresentazione nella corteccia motoria del trasverso dell'addome (TrA) prima e dopo skilled training (Tsao, Galea & Hodges)

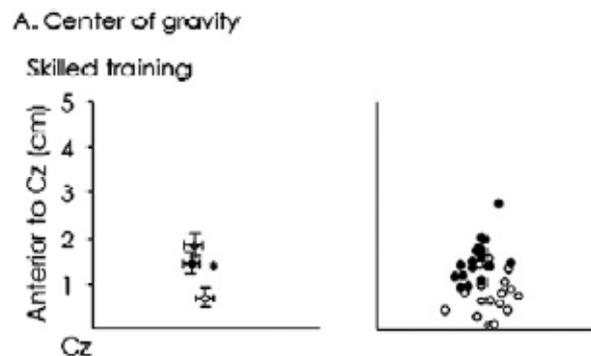


Figura 8 - Centro di gravità (CoG) del trasverso dell'addome (TrA) prima (cerchi bianchi) e dopo il training (cerchi neri) per il gruppo che ha seguito il training di motor control and learning (a sinistra è riportato l'intervallo di confidenza significativo, mentre a destra sono riportati i dati individuali) (Tsao, Galea & Hodges)

I risultati evidenziano uno shift anteriore e mediale nella rappresentazione corticale motoria del muscolo allenato, per cui la rappresentazione del TrA in seguito a training è sovrapponibile a quella del gruppo di individui sani. Tale shift anteriore e mediale del CoG del TrA all'interno della corteccia motoria risulta essere associato quindi ad una migliore attivazione posturale durante rapidi movimenti degli arti superiori in flessione ed estensione. Contrariamente a quanto riscontrato nel precedente studio, non si evidenziavano cambiamenti nel volume della mappa.

Questi dati dimostrano la reversibilità dei cambiamenti adattativi del sistema motorio, e quindi della corteccia motoria, in pazienti con LBP. Un training basato sull'apprendimento motorio induce lo shift anteriore e mediale nella rappresentazione corticale motoria del TrA e dunque il ripristino della coordinazione motoria. Per cui, se lo studio precedente confermava la presenza di cambiamenti nell'organizzazione corticale motoria con seguente deficit di controllo posturale, in tale studio si sottolinea la reversibilità di tali modificazioni mediante training motorio. E' quindi possibile concludere affermando che il training motorio, oltre a ridurre l'intensità del LBP, può

guidare la plasticità del sistema motorio corticale e si associa ad un miglioramento della coordinazione motoria.

Gli ultimi due studi presi in esame per tale revisione sono due review stilate da *van Vliet et al* nel 2006 e da *Boudreau et al* nel 2010, di fondamentale importanza per la loro rilevanza di dati.

Nella pubblicazione del 2006, *van Vliet et al* propone un modello teorico di ‘programma motorio’, con il quale si identifica ‘un gruppo di comandi motori prestrutturato che definisce i dettagli principali dell’azione specifica’, e si compone di due sostanziali meccanismi: feedback e feedforward (25). Il meccanismo di feedback è fornito dalla vista e dalla propriocezione, mentre il meccanismo di feedforward permette lo spostamento del centro di massa, il mantenimento della stabilità del sistema vestibolare e visivo e, mediante l’utilizzo di forze reattive anticipatorie, mantiene la stabilità delle articolazioni della colonna vertebrale. Gli autori riportano inoltre evidenze in merito alla possibilità di modificazione dell’organizzazione funzionale della corteccia motoria primaria in risposta ad un training compito-specifico e quindi in base ad un programma motorio dedicato.

Nella seconda revisione più recente, pubblicata nel 2010, *Boudreau et al* confermano la presenza di cambiamenti funzionali (riorganizzazione) delle proprietà neuronali all’interno del sistema sensomotorio (26). Infatti, in pazienti con LBP si riscontra una ridotta funzione spinale dei muscoli lombari e uno shift nella rappresentazione dei muscoli lombari all’interno della corteccia somatosensoriale. Uno studio topografico effettuato mediante stimolazione magnetica transcranica (TMS) riconduce lo shift del CoG del TrA in direzione posterolaterale, con un incremento della rappresentazione stessa del trasverso dell’addome nella corteccia motoria primaria. Inoltre, il ritardo di attivazione del TrA durante rapidi movimenti degli arti superiori risulta essere correlato con la proporzione di riorganizzazione corticale motoria primaria; queste alterazioni sono caratteristiche specifiche di riorganizzazione corticale.

E’ stato comunque dimostrato che pazienti con LBP sottoposti a motor-skill training riportano un ritorno del CoG nella posizione iniziale, riscontrata nei soggetti sani, per cui le modificazioni neuroplastiche associate a LBP possono essere invertite da un training di motor control and learning. Tali step di cambiamenti neuroplastici sono

supportati da studi che hanno dimostrato come l'acquisizione di un'abilità motoria segua due stadi: un primo stadio più breve nel quale il considerevole miglioramento della performance è osservato all'interno di una singola sessione di training, ed un secondo stadio in cui i miglioramenti sono visibili dopo numerose sessioni di pratica. Pertanto, le modificazioni corticali seguenti ad un training di abilità motorie avviene rapidamente ed evolve in modo proporzionale all'esercitazione.

Il training che ha riscosso migliori risultati di efficacia è quello impostato su contrazioni volontarie isolate del TrA, per cui l'abilità, l'accuratezza e la precisione di un compito motorio dovrà essere utilizzata al fine di facilitare i cambiamenti neuroplastici corticali.

## CONCLUSIONI

Sono state rilevate numerose modificazioni corticali strutturali e funzionali in soggetti con dolore cronico muscoloscheletrico e si sta diffondendo maggiormente il presupposto che tali cambiamenti potrebbero contribuire allo sviluppo ed al mantenimento dello stato di dolore cronico. All'interno delle alterazioni strutturali riscontrate è possibile individuare la riduzione di materia grigia, mentre tra quelle di tipo funzionale si identificano la localizzazione shiftata della rappresentazione muscolare corticale e la riduzione delle risposte specifiche dei muscoli addominali profondi. Tali variazioni possono essere considerate importanti fattori di implicazione e compromissione clinica.

Poiché è stato osservato che le performance motorie alterate potrebbero essere causa di mantenimento del dolore, l'approccio riabilitativo si pone come obiettivo il ripristino delle normali strategie motorie, aspetto fondamentale per il trattamento del dolore in disturbi muscoloscheletrici.

Il CLBP è caratterizzato da input nocicettivi prolungati nel tempo che possono condurre ad un'alterazione della morfologia e dell'architettura neuronale corticale; esistono numerosi approcci riabilitativi per il trattamento di tale condizione, ma solo alcuni hanno efficacia. Il training impostato sul modello 'motor control and learning', in base alle evidenze ritrovate, risulta essere dunque quello maggiormente raccomandato poiché, oltre ad agire sulla riduzione del dolore e della disabilità, conduce a cambiamenti plastici del sistema nervoso. Di conseguenza, le regioni cerebrali sito di queste modificazioni plastiche indotte dall'apprendimento motorio, contribuiscono al ripristino del corretto controllo posturale anticipatorio.

Per cui, gli approcci riabilitativi che tentano di implementare il maggior numero di cambiamenti corticali neuroplastici sono da considerarsi il maggior potenziale riabilitativo di successo. Tale presupposto, basilare nella riabilitazione neurologica, deve essere ancora pienamente incorporato e incluso nelle strategie di riabilitazione motoria per il dolore di origine muscoloscheletrica. A tal proposito, è opportuno porsi come obiettivo futuro quello di continuare ad indagare e ricercare i cambiamenti corticali che un training di apprendimento motorio può indurre, al fine di guidare tali modificazioni in specifiche direzioni dettate dalla riacquisizione motoria.

## KEY POINT

- Il LBP rappresenta una condizione sanitaria e socioeconomica di notevole rilevanza
- La condizione di *Chronic Low Back Pain* induce una perdita di funzione e di controllo del movimento, con la conseguente attuazione di strategie di movimento compensatorie
- Il trattamento riabilitativo per soggetti con CLBP, al fine di ottenere il ripristino della condizione necessaria ottimale per la stabilità dinamica ed il controllo segmentale del rachide, deve essere basato sul modello '*motor control and learning*';
- Il deficit di controllo posturale anticipatorio e le disfunzioni di movimento che si riscontrano nei pazienti con CLBP sono riconducibili a modificazioni rilevanti dell'eccitabilità e dell'organizzazione corticale motoria



Poiché l'apprendimento è la condizione necessaria affinché si raggiunga il ripristino delle funzioni alterate



Un training basato sull'apprendimento motorio conduce alla reversibilità delle modificazioni adattative attuate dal sistema motorio, e quindi della corteccia motoria, in presenza di LBP cronico;

Il training motorio quindi, oltre a ridurre l'intensità del LBP, può guidare la plasticità del sistema motorio corticale e si associa ad un miglioramento della coordinazione motoria.

## BIBLIOGRAFIA

### BACKGROUND

1. *Chronic non-specific low back pain - sub-groups or a single mechanism?* **Benedict Martin Wand, Neil Edward O'Connell.** University of Notre Dame, Australia : BMC Musculoskeletal Disorders, 2008, Vol. 9: 11.
2. *European guideline for the diagnosis and treatment of the pelvic girdle pain.* **Vleeming A., Albert HB., Ostgaard HC., Sturesson B., Stuge B.** s.l. : Eur Spine J, 2008, Vol. 17 (6): 794-819.
3. *Stability of the lumbar spine.* **A., Bergmark.** s.l. : Acta Orthop. Scand., 1989, Vol. 60, 1-54.
4. *Evidence of altered lumbopelvic muscle recruitment in the presence of sacroiliac joint pain.* **Hungerford B., Gilleard W., Hodges P.** University of Queensland, Brisbane, Australia : Spine, 2003, Vol. 28 (14): 1593-1600.
5. *Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability?* **Hodges, P. W.** 4(2), 74-86, Prince of Wales Medical Research Institute, Sydney, Australia : Harcourt Brace & Co. Ltd, 1999, Vol. Manual Therapy (1999).
6. *Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms.* **Paul W. Hodges, G. Lorimer Moseley.** University of Queensland, Brisbane, Australia : Journal of Electromyography and Kinesiology, 2003, Vol. 13: 361-370.
7. *The Stabilizing System of the Spine. Part I. Function, Dysfunction, Adaptation, and Enhancement.* **Panjabi, Manohar M.** New Haven, Connecticut U.S.A. : Journal of Spinal Disorders, 1992, Vol. 5 No. 4, pp 383-389.
8. *Clinical spinal instability and low back pain.* **Panjabi, Manohar M.** New Haven, USA : Journal of Electromyography and Kinesiology, 2003, Vol. 13, pp. 371-379.
9. *Lumbar segmental 'instability': clinical presentation and specific stabilizing exercise management.* **O'Sullivan, P.B.** Shenton Park, W.A, Australia : Manual Therapy, 2000, Vol. 5 (1), 2-12.

### FOREGROUND

10. *Isometric Force Parameters and Trunk Muscle Recruitment Strategies in a Population With Low Back Pain.* **Martin Descarreaux, Catherine Lalonde, Martin C. Normand.** University of Quebec, Canada : J Manipulative Physiol Ther, 2007, Vol. 30: 91-97.
11. *Force Production Parameters in Patients With Low Back Pain and Healthy Control Study Participants.* **Martin Descarreaux, Jean-Sebastien Blouin, Norman Teasdale.** University of Quebec, Canada : Spine, 2004, Vol. 29, 3, pp. 311-317.

12. *Isometric force production parameters during normal and experimental low back pain conditions.* **Martin Descarreaux, Jean-Sebastien blouin, Norman Teasdale.** University of Quebec, Canada : BMC Musculoskeletal Disorders, 2005, Vol. 6: 6.
13. *Repositioning accuracy and movement parameters in low back pain subjects and healthy control subjects.* **Martin Descarreaux, Jean-Sebastien Blouin, Normand Teasdale.** University of Quebec, Canada : Eur Spine J, 2005, Vol. 14: 185-191.
14. *Persistence of improvements in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain.* **Tsao H., Hodges W.P.** University of Queensland, Australia : Journal of Electromyography and Kinesiology, 2008, Vol. 18: 559-567.
15. *Changes in pelvic floor and diaphragm kinematics and respiratory patterns in subjects with sacroiliac joint pain following a motor learning intervention: A case series.* **O'Sullivan P.B., Beales D.J.** Curtin University of Technology, Australia : Manual Therapy, 2007, Vol. 12: 209-218.
16. *Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain.* **Tsao H, Galea MP, Hodges PW.** University of Queensland, Brisbane, Australia : Brain, 2008, Vol. 131, 2161-2171.
17. *Cortical reorganisation and chronic pain: implications for rehabilitation.* **Flor, Herta.** University of Heidelberg, Mannheim, Germany : J Rehabil Med, 2003, Vol. Suppl. 41: 66-72.
18. *The modification of cortical reorganization and chronic pain by sensory feedback.* **Flor, Herta.** University of Heidelberg, Mannheim, Germany : Applied Psychophysiology and Biofeedback, 2002, Vol. 27, No 3.
19. *Affective components and intensity of pain correlate with structural differences in gray matter in chronic back pain patients.* **Schmidt-Wilcke T., Leinisch E., Ganbauer S., Draganski B., Bogdahn U., Altmeyen J., May A.** University of Regensburg, Germany : Pain, 2006, Vol. 125: 89-97.
20. *Low back pain associates with altered activity of the cerebral cortex prior to arm movements that require postural adjustment.* **Jesse V. Jacobs, Sharon M. Henry, Keith J. Nagle.** University of Vermont, Burlington, VT, USA : Clinical Neurophysiology, 2010, Vol. 121: 431-440.
21. *Cortical changes in chronic low back pain: Current state of the art and implications for clinical practice.* **Benedict Martin Wand, Luke Parkitny, Neil Edward 'Connell, Hannu Luomajoki, James Henry McAuley, Michael Thacker, G. Lorimer Moseley.** University of Notre Dame Australia, Fremantle, Australia : Manual Therapy, 2011, Vol. 16: 15-20.
22. *Technology-assisted training of arm-hand skill in stroke: concepts on reacquisition of motor control and therapist guidelines for rehabilitation technology design.* **Annick AA Timmermans, Henk AM Seelen, Richard D Willman, Herman Kingma.** Technical University Eindhoven, the Netherlands : Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2009, Vol. 6: 1.

23. *Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training.* **Tsao H., Hodges P.W.** University of Queensland, Brisbane, Australia : *Exp Brain Res*, 2007, Vol. 181: 537-546.
24. *Driving plasticity in the motor cortex in recurrent low back pain.* **Henry Tsao, Mary P. Galea, Paul W. Hodges.** University of Queensland, Brisbane, Australia : *European Journal of Pain*, 2010, Vol. 14: 832-839.
25. *Motor control and the management of musculoskeletal dysfunction.* **van Vliet P.M., Heneghan N.R.** University of Queensland, Brisbane, Australia : *Manual Therapy*, 2006, Vol. 11: 208-213.
26. *The role of motor learning and neuroplasticity in designing rehabilitation approaches for musculoskeletal pain disorders.* **Shellie A. Boudreau, Dario Farina, Deborah Falla.** Aalborg University, Aalborg, Denmark : *Manual Therapy*, 2010, Vol. XXX: 1-5.