



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica
e Scienze Materno-Infantili

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A. 2014/2015

Campus Universitario di Savona

Relazione tra low back pain e variazioni del controllo posturale e movimenti posturali anticipatori

Candidato:

dott. ft. Andrea Sassoli

Relatore:

dott. ft. OMT Valentina Lazzari

ABSTRACT

Introduzione –

Il mantenimento dell'equilibrio si basa sull'interazioni di afferenze visive, vestibolari e somato-sensoriali, elaborate dal sistema nervoso centrale secondo tre livelli di controllo motorio midollare, tronco-encefaliche e cognitive: la risposta del sistema in concomitanza con una perturbazione dell'equilibrio (esterna o interna) è sotto forma di sinergia motoria (anticipatoria o a feedback).

Poiché i soggetti con low back pain risultano deficitari sia nella propriocezione, sia nella modulazione delle funzioni superiori, è lecito immaginare impairment nel controllo posturale e negli aggiustamenti anticipatori.

Obiettivi –

Revisione della letteratura in merito al controllo posturale e aggiustamenti anticipatori nei soggetti con low back pain aspecifico.

Materiali e metodi –

Ricerca bibliografica su Medline, tramite i termini Mesh "Low Back Pain", "Avoidance Learning", "Musculoskeletal Physiological Phenomena", "Proprioception", "Somatosensory Disorders", "Movement Disorders" (combinati con operatori booleani).

Criteri d'inclusione ed esclusione sono stati determinati secondo pertinenza e qualità degli studi reperiti.

Risultati –

Dalla ricerca sono emersi 2241 record: 2169 record sono stati esclusi dopo lettura degli abstract, altri 22 dopo la lettura dei full-text.

50 articoli sono stati inclusi nella revisione: studi sul controllo posturale in posizione seduta, in stazione eretta e in one-leg stance, con o senza perturbazione interna o esterna; studi sull'attività muscolare anticipatoria rispetto a perturbazioni interne o esterne.

Conclusioni –

Il low back pain cronico aspecifico è associato a minore accuratezza del controllo posturale, riduzione delle strategie di aggiustamento anticipatorio, maggiore latenza nella risposta alle perturbazioni (con riorganizzazione dei network corticali): aumenta la dipendenza dall'afferenza visiva ed il ricorso a strategia di caviglia o a pattern di co-contrazione, soprattutto quando il compito di balance aumenta in difficoltà o in caso di dual task.

Indice

ABSTRACT	III
Indice	V
Introduzione	1
Materiali e metodi	4
Criteri d'inclusione	4
Criteri di esclusione	5
Risultati	8
Controllo posturale in posizione seduta	27
Controllo posturale in one-leg standing	30
Controllo posturale in stazione eretta, con variazione delle afferenze	33
Controllo posturale in stazione eretta, in seguito a movimento di un segmento	37
Controllo posturale in stazione eretta, in seguito a perturbazioni della base d'appoggio	41
Controllo posturale in stazione eretta, in combinazione con task cognitivo	43
Attività muscolare anticipatoria, in seguito a perturbazione interna	47
Attività muscolare anticipatoria, in seguito a perturbazione esterna	53
Discussione	60
Conclusione	65
Bibliografia	66

Introduzione

Il mantenimento dell'equilibrio è una funzione essenziale, necessaria affinché il corpo possa relazionarsi con lo spazio bilanciando la forza di gravità a cui è soggetto.

Questa funzione complessa si basa sulle informazioni derivanti dall'interazione di tre input sensoriali: il sistema visivo, il sistema vestibolare, il sistema somato-sensoriale ^[1].

Il sistema visivo – oculomotore invia afferenze relative al movimento reciproco tra il capo e la visione.

Il sistema vestibolare veicola afferenze circa il movimento della testa nello spazio.

Il sistema somato-sensoriale trasmette afferenze in merito alla posizione e al movimento dei segmenti del corpo nello spazio.

Le afferenze ricevute dai tre sistemi sensoriali sono computate dal sistema nervoso centrale attraverso tre livelli di controllo motorio differenti, che contribuiscono a produrre una risposta appropriata al mantenimento dell'equilibrio: riflesso midollare spinale, vie tronco-encefaliche, programmazione cognitiva ^[2].

La via midollare sfrutta le afferenze propriocettive dai fusi neuromuscolari e dagli organi tendinei del Golgi.

Le vie tronco-encefaliche integrano i segnali propriocettivi con le afferenze vestibolari e visive.

La programmazione cognitiva è costituita da sinergie motorie atte a generare aggiustamenti volontari: non semplici regolazioni della forza muscolare, ma il reclutamento di alcuni gruppi muscolari che siano adeguati rispetto alla perturbazione, secondo un corretto timing di attivazione.

In concomitanza con il movimento volontario o con una perturbazione esterna, gli aggiustamenti posturali sono prodotti al fine di neutralizzare le deviazioni del centro di massa (CoM): questi aggiustamenti sono di fatto strategie muscolari di bilanciamento, che possono avere due tipi di andamento riconoscibili ^[3, 4, 5, 6, 7, 8].

Un andamento prevalentemente disto-prossimale, nel quale forze di reazione sono applicate al centro di pressione (CoP): le oscillazioni prodotte controbilanciano le fluttuazioni del CoM in modo da mantenerle all'interno dei limiti o area di stabilità (LoS); questo tipo di strategia è storicamente noto come "strategia di caviglia", ed è prevalente nel soggetto sano nei casi in cui il supporto sia stabile, ed una perturbazione occorra dall'interno o dall'esterno del corpo.

Un andamento prevalentemente prossimo-distale, nel quale le forze di reazione applicate sono in attiguità al CoM, controllando la stabilità del rachide: la strategia nota come "strategia d'anca" è prevalente nel soggetto sano nei casi in cui la base d'appoggio sia instabile e l'area di supporto a disposizione sia ridotta.

Numerosi studi sono già stati effettuati su soggetti sani durante il movimento di un arto, per individuare le strategie di controllo posturale espresse dal SNC: tali strategie prevedono un'attivazione muscolare in anticipo sull'attività del prime mover (il primo muscolo ad attivarsi nel movimento esaminato) [5, 6, 7].

Poiché le funzioni cognitive superiori contribuiscono, insieme alle afferenze sensoriali, al controllo posturale, è stato ipotizzato e quindi dimostrato che tali funzioni cognitive possono essere influenzate da compiti che richiedano attenzione, e viceversa, anche in strategie motorie già acquisite: questi compiti possono essere usati in clinica per valutare l'impatto del dual-tasking sul controllo del balance [9, 10].

Il low back pain è definito come dolore nell'area posteriore del corpo che duri almeno un giorno: l'area interessata è compresa dal limite inferiore dell'arcata del dodicesimo paio di coste alla piega glutea, con eventuale dolore riferito ad uno o entrambi gli arti inferiori [11].

La prevalenza annuale del low back pain nel mondo è stimata intorno al 40%, con picchi di prevalenza life-time del 84% [12, 13].

Il dato di prevalenza del low back pain cronico, quando la durata dei sintomi si prolunga oltre le 12 settimane, è stimato al 23%; fino al 62–73% dei soggetti interessati presenta sintomi ancora dopo 12 mesi dal primo episodio, e 11-12% dei casi riporta alti livelli di dolore e/o alti livelli di disabilità.

Il low back pain aspecifico, in prevalenza 85% dei casi, non è riconducibile a patologie riconoscibili, quali sindrome radicolare, quadri infiammatori, infezioni, tumori, fratture o deformità strutturali.

Nei soggetti con LBP è presente un deficit di propiocezione ^[14, 15, 16, 17, 18, 19], evidente in diverse posture sia nell'identificare una posizione predeterminata sia nel riconoscere il movimento reciproco dei segmenti rachidei: poiché una parte delle informazioni sensoriali utili al controllo posturale è alterata, è lecito immaginare che la funzione di balance sia soggetta ad impairment.

In più, sono evidenti segni di riduzione della velocità psicomotoria e della memoria a breve termine ^[20, 21], compatibili con un'alterazione delle funzioni cognitive superiori, a cui spetta la scelta della strategia di controllo posturale più efficace alla perturbazione.

L'obiettivo di questa revisione della letteratura è, quindi, raccogliere le evidenze disponibili circa i numerosi studi condotti sul controllo posturale nel low back pain aspecifico

- sia indagando l'aspetto cinetico e cinematico del mantenimento del balance nei diversi segmenti corporei,
- sia verificando a quali modifiche siano soggetti i pattern di attivazione muscolare propri degli aggiustamenti posturali anticipatori o conseguenti il movimento di un arto o una perturbazione esterna.

Materiali e metodi

La ricerca bibliografica è avvenuta tra giugno 2015 e aprile 2016, all'interno del database Medline.

Dai temi della ricerca:

- low back pain;
 - variazioni del controllo posturale o movimenti posturali anticipatori;
- sono state estrapolate parole chiave utili a comporre una stringa di ricerca sensibile e non specifica (con l'utilizzo di termini Mesh ed operatori booleani)

"Low Back Pain"[Mesh] AND ("Avoidance Learning"[Mesh] OR "Musculoskeletal Physiological Phenomena"[Mesh] OR "Proprioception"[Mesh] OR "Somatosensory Disorders"[Mesh] OR "Movement Disorders"[Mesh]).

Criteri d'inclusione

Dai risultati della stringa di ricerca, sono stati presi in considerazione solo i record

- in lingua inglese o italiana;
- su soggetti umani in età adulta (età maggiore di 18 anni);

su tali risultati, è stata effettuata una prima selezione, tramite la lettura di titoli ed abstract, per estrarre i record di studi i cui obiettivi fossero d'individuare impairment nel controllo posturale in soggetti con LBP.

La scelta è caduta su studi che prevedessero due gruppi omogenei, un gruppo sperimentale ed un gruppo di controllo senza differenze significative nei parametri antropometrici:

- nel gruppo sperimentale, i soggetti dovevano essere affetti da low back pain di eziologia aspecifica muscolo-scheletrica, senza o con minimi segni di dolore riferito all'arto inferiore, non sottoposti ad alcuna procedura di trattamento precedente lo studio (né riabilitativa, né farmacologica o chirurgica);

- nel gruppo di controllo, i soggetti dovevano essere liberi da condizioni dolorose (in genere, da almeno 12 mesi), non sottoposti ad alcuna procedura di trattamento precedente lo studio (né riabilitativa, né farmacologica o chirurgica).

Un primo macroargomento è stato individuato in studi di cinetica e cinematica, sul controllo dei diversi segmenti corporei durante il mantenimento di una postura seduta o in stazione eretta o in one-leg stance, anche in seguito a

- variazioni delle afferenze visive e/o propriocettive;
- perturbazioni della postura dovute a movimento di un segmento;
- perturbazioni della postura dovute a movimento della base d'appoggio;
- perturbazioni della postura dovuta a dual tasking, combinazione di un compito motorio più compito cognitivo.

Un secondo macroargomento tratta dell'attivazione muscolare anticipatoria, rispetto ad una perturbazione della postura indotta dal movimento di un segmento corporeo degli arti, o conseguente ad una perturbazione indotta da una forza esterna all'individuo (sovraccarichi, o movimenti della base d'appoggio).

Criteri di esclusione

Di seguito, si espongono i motivi che hanno portato, dopo lettura di titolo ed abstract, all'esclusione di un risultato dai possibili articoli in revisione.

Non pertinenza. Lo studio, correlato al dolore lombare, non tratta un aspetto che sia pertinente con la valutazione cinetica o cinematica o dinamica del controllo posturale nel low back pain aspecifico.

Aspetti psicosociali. Articoli il cui main focus è sulla relazione tra la presentazione clinica del low back pain (o della disabilità o della restrizione della partecipazione che ne consegue), e aspetti psicologici e/o fattori sociali.

Biomeccanica e fisiologia. Gli articoli esclusi trattano

- la cinematica del movimento del rachide e dei segmenti annessi, senza correlazione con le strategie di controllo posturale;
- la fisiologia (composizione del tessuto e sua eccitabilità), il controllo motorio o l'endurance dell'attività muscolare, senza considerare il timing di attivazione degli aggiustamenti posturali rispetto all'esecuzione di un task motorio;
- la neurofisiologia dei riflessi spinali.

Experimental pain. Il gruppo sperimentale allo studio, è oggetto di un low back pain indotto farmacologicamente o tramite agenti fisici esterni.

Indagine su soggetti patologici. Lo studio è stato condotto in mancanza del gruppo di controllo.

Indagine su soggetti controllo. Lo studio è stato condotto unicamente su un campione di soggetti non affetti da low back pain.

Lombalgia specifica. Nell'articolo sono esaminati soggetti con dolore lombare derivato da una patologia specifica (discopatia, radicolopatia, stenosi, spondilolistesi/listesi, pelvic girdle pain, ...), o soggetti che hanno subito una procedura chirurgica a carico del rachide.

In tale gruppo di esclusione, sono stati inseriti anche i record i cui studi fossero unicamente rivolti a soggetti classificati in un sotto-gruppo di LBP aspecifico.

Popolazione ristretta. L'articolo prende in esame un campione di soggetti non rappresentativo della popolazione generale, ma un gruppo specifico di individui (ad esempio, atleti di una determinata disciplina, o lavoratori di un dato settore).

Repositioning task. Negli articoli si valuta il senso di posizione e movimento del rachide lombare, in diverse posture, e il raggiungimento (passivo o attivo) di una posizione neutra o predeterminata.

Respirazione. In tali studi si cerca una interazione tra la perturbazione indotta dalla funzione respiratoria, in diverse condizioni, e il controllo posturale in low back pain.

Trattamento. Gli studi esaminano procedure d'intervento, volte a incrementare le abilità e favorire la partecipazione, in soggetti affetti da low back pain con impairment del controllo posturale.

Valutazione di affidabilità. Lo studio s'impegna a provare l'affidabilità di una classificazione diagnostica, di un sistema di valutazione, di strumenti o scale di misura, di un processo di trattamento.

Dalla stringa di ricerca elaborata,

"Low Back Pain"[Mesh] AND ("Avoidance Learning"[Mesh] OR "Musculoskeletal Physiological Phenomena"[Mesh] OR "Proprioception"[Mesh] OR "Somatosensory Disorders"[Mesh] OR "Movement Disorders"[Mesh])

sono risultati 2241 record, filtrati in lingua inglese e italiana, su soggetti adulti.

Di questi, 544 record erano pertinenti ad una valutazione cinetica, cinematica o dinamica della stasi o del movimento di soggetti con low back pain aspecifico.

Ai record pertinenti, sono stati applicati i criteri d'inclusione ed esclusione, ottenendo 72 articoli potenzialmente utili alla revisione.

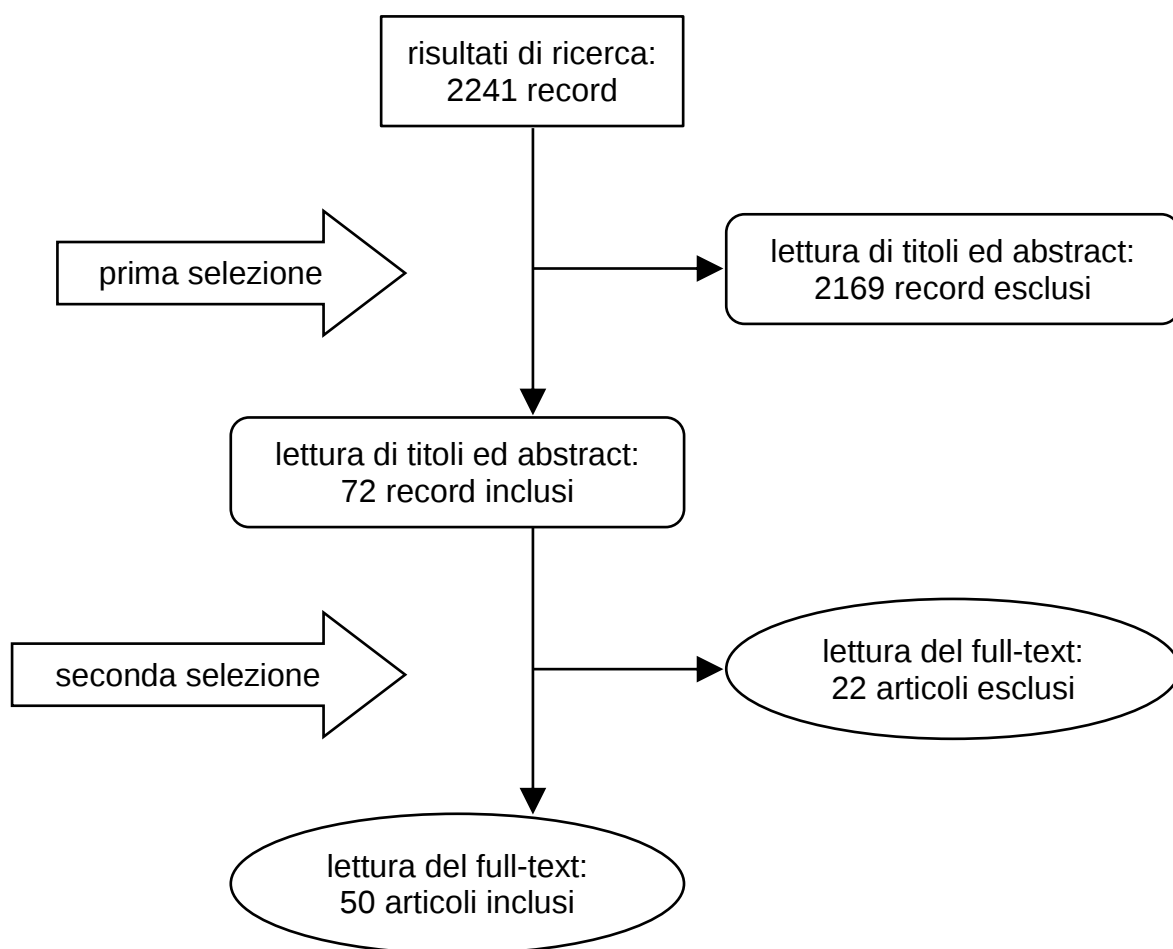


diagramma 1: processo di selezione degli articoli

tabella 1: record esclusi alla prima selezione

<i>lettura di titoli ed abstract: motivo di esclusione</i>	<i>n° record</i>
non pertinente	1697
aspetti psicosociali	10
biomeccanica e fisiologia	171
experimental pain	18
indagine su soggetti patologici	10
indagine su soggetti controllo	36
lombalgia specifica	25
popolazione ristretta	34
repositioning task	9
respirazione	3
trattamento	100
valutazione di affidabilità	56

Al termine della prima selezione, per ciascun record vagliato è stato reperito l'articolo originale (tramite le risorse on-line dell'Università degli studi di Genova, o tramite la piattaforma di condivisione ResearchGate*): dalla lettura dei full-text, dopo un secondo processo di selezione, sono emersi gli articoli utili alla revisione.

Un primo gruppo, riguardante l'impairment nel controllo posturale:

- in posizione seduta {tabella 2},
- in one-leg stance {tabella 3},
- in stazione eretta, anche in seguito a perturbazione dovuta a
 - + variazione di afferenze visive e/o propriocettive {tabella 4};
 - + movimento di un segmento corporeo {tabella 5};
 - + perturbazione della base d'appoggio {tabella 6};
 - + interazione con compiti cognitivi / dual tasking {tabella 7}.

* <https://www.researchgate.net/> (ultimo accesso: 28 maggio 2016)

Un secondo gruppo, in merito all'attività muscolare anticipatoria dei muscoli del tronco e/o degli arti, rispetto a

- una perturbazione interna, quindi il movimento di segmento corporeo {tabella 8};
- una perturbazione esterna, come una variazione di forza a carico di un segmento o modifiche nella base d'appoggio {tabella 9}.

Una parte degli articoli, dopo la lettura integrale, non ha superato la seconda selezione e non è stata inclusa nella revisione {tabella 10}.

Di un solo articolo non è stato possibile reperirne il full-text.

tabella 2: impairment del controllo posturale in posizione seduta

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Freddolini M et al. (2014) ²⁷	The role of trunk muscles in sitting balance control in people with low back pain.	cross-sectional study	<u>popolazione</u> : LBP 23 + C 31 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform, motion track system, sEMG <u>procedura</u> : tilt 20° della seduta (3x)	velocità movimento lombare LBP < C [p>0,05], velocità angolare coxo-femorale LBP > C [p<0,05]; onset muscolare LBP < C [p<0,05], durata della contrazione LBP > C [p<0,05]
Willigenburg NW et al. (2013) ²⁶	Center of pressure trajectories trunk kinematics and trunk muscle activation during unstable sitting in low back pain patients.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 20 + C 11 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform, sEMG, markers + videocamera <u>procedura</u> : unstable sitting, occhi aperti/chiusi, con/senza vibrazione muscolare lombare (2x/condizione, 50"/prova)	LBP > C in CoPsway sul piano frontale [p=0,044]; LBP > C in movimenti toraco-lombari [p<0,05]; rapporto attività mm. longissimus/iliocostalis LBP < C [p=0,004]; occhi chiusi o vibrazione non influiscono significativamente sui parametri in LBP [p>0,05]
Willigenburg NW et al. (2012) ²⁵	Precision control of an upright trunk posture in low back pain patients.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 20 + C 13 <u>strumenti di valutazione</u> : markers + videocamera, sEMG, visual feedback <u>procedura</u> : posizione neutra semiseduta (2 x 30"), con visual target grande/piccolo o vibrazione muscolare	target grande e vibrazione influiscono sulla precisione del controllo in entrambi i gruppi [p>0,05]; accuratezza LBP < C in tutte le condizioni [p<0,05]; LBP non influente su coattivazione muscolare anteroposteriore [p>0,05]
Van Daele U et al. (2010) ²⁴	Decrease in postural sway and trunk stiffness during cognitive dual-task in nonspecific chronic low back pain patients performance compared to healthy control subjects.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 21 + C 21 <u>strumenti di valutazione</u> : markers riflettenti + videocamera <u>procedura</u> : in unstable sitting, con due/un piede in appoggio, con/senza task cognitivo (20"/condizione)	in LBP, incremento CoPsway con task cognitivo (in deviazioni sul piano frontale o trasversale) con appoggio di entrambi i piedi [p<0,05]; non significativa riduzione CoPsway in LBP con appoggio di un solo piede [p>0,05]

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Van Daele U et al. (2009) ²³	Differences in balance strategies between nonspecific chronic low back pain patients and healthy control subjects during unstable sitting.	experimental study	<u>popolazione</u> : LBP 19 + C 20 <u>strumenti di valutazione</u> : markers riflettenti + videocamere <u>procedura</u> : unstable sitting (20")	deviazione della pelvi LBP > C in direzione anteroposteriore e rotazione [p<0,05]; deviazione del tronco LBP > C in direzione anteroposteriore e laterale [p<0,05]; maggiore correlazione tra angolo di deviazione tronco-pelvi in LBP [p<0,05]
Radebold A et al. (2001) ²²	Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 16 + C 14 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform, sEMG <u>procedura</u> : unstable sitting in 4 livelli d'instabilità (5x/livello), occhi aperti/chiusi; perturbazione del tronco in upright position	in unstable sitting, CoPsway LBP > C, soprattutto in direzione anteroposteriore, anche in relazione a livello d'instabilità e visione [p<0,05]; in perturbazione, onset antagonisti (tutte le direzioni) e offset agonisti (solo in flessioestensione) LBP > C [p<0,05]

tabella 3: impairment del controllo posturale in one-leg standing

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Sung PS et al. (2015) ³²	A kinematic and kinetic analysis of spinal region in subjects with and without recurrent low back pain during one leg standing.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 22 + C 20 <u>strumenti di valutazione</u> : camere a infrarossi + markers riflettenti, force plate <u>procedura</u> : non dominant one-leg standing occhi aperti/chiusi, (3 prove, 25")	stabilità cinetica e cinematica LBP < C, dipendente dalla visione [p<0,05]; maggiore stabilità rachide lombare rispetto alle altre regioni [p=0,001]
Lee DC et al. (2012) ³¹	Effect of visual input on normalized standing stability in subjects with recurrent low back pain.	cross-sectional study	<u>popolazione</u> : LBP 15 + C 27 <u>strumenti di valutazione</u> : force plate, markers riflettenti + videocamere <u>procedura</u> : random dx/sn one-leg stance (25"), occhi aperti/chiusi (3x/combinazione)	stabilità cinetica LBP < C [p<0,05], tranne in dominant-leg standing ad occhi aperti
Jo HJ et al. (2011) ³⁰	A kinematic analysis of relative stability of the lower extremities between subjects with and without chronic low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 26 + C28 <u>strumenti di valutazione</u> : markers + videocamere, force plate <u>procedura</u> : dominant/non dominant one-leg standing (25" + 1' riposo)	tempo di tenuta LBP < C [p=0,007], differenza tra AI dominante/non dominante [p=0,003]; stabilità LBP < C, differenza tra dominante/non dominante [p=0,003]
Ham YW et al. (2010) ²⁹	Kinematic analyses of trunk stability in one leg standing for individuals with recurrent low back pain.	studio prospettico	<u>popolazione</u> : LBP 26 + C 28 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform, markers + videocamere <u>procedura</u> : random dx/sn one-leg standing, occhi aperti/chiusi (25")	tempo di tenuta LBP < C [p=0,03], influenzato dall'input visivo [p=0,009]; stabilità LBP < C, influenzata da input visivo e trunk area (no rachide lombare) [p<0.0001]
Sung PS et al. (2010) ²⁸	Lumbar spine stability for subjects with and without low back pain during one-leg standing test.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 26 + C 28 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform, reflective markers + videocamere <u>procedura</u> : random dx/sn one-leg standing, occhi aperti/chiusi (25")	rachide in toto/lombare, holding time occhi chiusi LBP < C [p<0,01]; rachide in toto, stabilità occhi chiusi LBP < C [p<0,05]

tabella 4: impairment del controllo posturale in stazione eretta, con variazione delle afferenze

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Caffaro RR et al. (2014) ³⁹	Postural control in individuals with and without non-specific chronic low back pain: a preliminary case-control study.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 21 + C 23 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : stable/unstable standing, occhi aperti/chiusi (3x/combinazione di 10")	in unstable standing con occhi chiusi, LBP > C in oscillazioni totali del CoP, area di sway e velocità di sway [p<0,05]
Pijnenburg M et al. (2014) ³⁸	Microstructural integrity of the superior cerebellar peduncle is associated with an impaired proprioceptive weighting capacity in individuals with non-specific low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 18 + C 18 <u>strumenti di valutazione</u> : force plate, risonanza magnetica <u>procedura</u> : escludendo il canale visivo, stable/unstable standing + vibrazione muscolare AI o tronco	no differenze significative tra i due gruppi [p>0,05]; associazione significativa [p<0,05] tra sostanza bianca del peduncolo superiore cerebellare e afferenze propriocettive nel LBP
Johanson E et al. (2011) ³⁷	The effect of acute back muscle fatigue on postural control strategy in people with and without recurrent low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 16 + C 16 <u>strumenti di valutazione</u> : force plate <u>procedura</u> : 6 prove (stable/unstable standing, vibrazione su MF o TS), di controllo e in seguito a fatica (modified Biering-Sørensen test)	controllo_ strategia di caviglia LBP > C; in unstable standing, stabilità LBP < C [p<0,0001], sway con vibrazione su TS LBP > C [p<0,001], sway con vibrazione su MF LBP < C [p<0,05] fatica_ non significative differenze
Yahia A et al. (2011) ³⁶	Evaluation of the posture and muscular strength of the trunk and inferior members of patients with chronic lumbar pain.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 30 + C 30 <u>strumenti di valutazione</u> : dinamometro, force platform <u>procedura</u> : misura della forza isocinetica del tronco e del ginocchio, sul piano sagittale (2 velocità, 5x/velocità); stable/unstable standing, occhi aperti/chiusi (2x/combinazione)	forza LBP < C in estensori del tronco [p<0,001], e flessori ed estensori del ginocchio [p≤0,02]; stabilità CoP LBP < C in unstable standing [p<0,05]; correlazione negativa tra forza flessori/estensori del tronco e CoPsway sul piano sagittale in LBP [p<0,05]

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Lafond D et al. (2009) ³⁵	Postural control during prolonged standing in persons with chronic low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 12 + C 12 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : quite standing (60") + prolonged standing (30') + quite standing (60")	durante prolonged standing, CoPsway CLBP < C in direzione anteroposteriore [p<0,05]; durante quite standing, CoPsway CLBP > C in anteroposteriore e LBP < C in laterale [p<0,001]
Mientjes MI et al. (1999) ³⁴	Balance in chronic low back pain patients compared to healthy people under various conditions in upright standing.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 8 + C 8 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform, markers + videocamera <u>procedura</u> : in quite standing, 7 livelli random di difficoltà crescente di visione, propriocezione ed informazione vestibolare (3x/livello)	sul piano sagittale, CoPsway LBP > C ad occhi chiusi, e frequenza di sway LBP > C in forward leaning o unstable standing [p<0,05]; sul piano frontale, CoPsway LBP > C in tutte le prove tranne livello base o unstable standing [p<0,05]; in LBP, maggiore anteriorità di CoP nelle prove senza forward leaning [p<0,05]; estensione del ginocchio LBP < C in tutte le prove [p>0,02]
Alexander KM et al. (1998) ³³	Differences in static balance and weight distribution between normal subjects and subjects with chronic unilateral low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 15 + C 15 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : quite standing occhi aperti (20")/chiusi (20"), equi-distribuzione del peso AAll (30")	ad occhi aperti, CoP sway totali e anteroposteriori LBP > C [p<0,05]; ad occhi chiusi, tutti i parametri CoP e LoS LBP > C [p<0,05]; non differenze nella distribuzione peso AAll [p>0,05]

tabella 5: impairment del controllo posturale in stazione eretta, in seguito a movimento di un segmento

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Mok NW et al. (2011b) ⁴⁵	Postural recovery following voluntary arm movement is impaired in people with chronic low back pain.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 13 + C 13 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : flessione bilaterale degli AASS in quiete standing su base ampia/ristretta, occhi aperti/chiusi (random, 5x/base)	tempo di stabilizzazione LBP > C indipendentemente da visione/base [$p < 0,001$], n° aggiustamenti posturali LBP > C indipendentemente da visione/base [$p = 0,01$]
Claeys K et al. (2011) ⁴⁴	Decreased variability in postural control strategies in young people with non-specific low back pain is associated with altered proprioceptive reweighting.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 106 + C 50 <u>strumenti di valutazione</u> : force plate + accelerometri <u>procedura</u> : stable/unstable standing, con flessione AS o vibrazione muscolare MF o TS; sitting, con vibrazione muscolare MF o TS	LBP < C in CoPsway in stable standing [$p < 0,0001$], LBP > C in CoPsway in unstable standing (anche con flessione AS) [$p < 0,0001$]; maggior strategia di caviglia in LBP in tutte le condizioni [$p < 0,0001$]
Mok NW et al. (2011a) ⁴³	Changes in lumbar movement in people with low back pain are related to compromised balance.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 11 + C 11 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform, motion analysis system <u>procedura</u> : quiete standing su base ampia/ristretta (random), con improvviso carico di 1kg agli AASS (5x/base, 30" riposo)	rispetto alla perturbazione, onset ritardato della flessione lombare in LBP [$p < 0,001$], > su base ristretta, con traslazione anteriore prima della flessione (inverso in C); tempo di recupero CoP e n° aggiustamenti LBP > C [$p < 0,001$]
Brumagne S et al. (2008b) ⁴²	Altered postural control in anticipation of postural instability in persons with recurrent low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 56 + C 33 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform + accelerometri <u>procedura</u> : quiete standing occhi aperti/chiusi, con movimento dell'AS o vibrazione muscolare	in LBP, CoP più anteriore nelle prove ad occhi chiusi, e con perturbazioni [$p < 0,05$]

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Brumagne S et al. (2008a) ⁴¹	Persons with recurrent low back pain exhibit a rigid postural control strategy.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 21 + C 24 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform + accelerometri <u>procedura</u> : stable/unstable standing, occhi aperti/chiusi, con movimento AS o vibrazione muscolare (1'/combinazione)	CoPsway LBP > C in unstable standing ad occhi chiusi [p<0,05] o con movimento AS [p<0,0001]; ricorso a strategia posturale di caviglia LBP > C [p<0,0001]
Mok NW et al. (2007) ⁴⁰	Failure to use movement in postural strategies leads to increased spinal displacement in low back pain.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 10 + C 10 <u>strumenti di valutazione</u> : markers + videocamere <u>procedura</u> : elevazione bilaterale AASS, in quiet standing su base larga/stretta (5x/base + 30" riposo)	movimenti anticipatori LBP < C [p=0,027]; entità estensione lombare anticipatoria LBP = C, entità flessione successiva LBP > C [p=0,004]; in LBP, correlazione tra entità dei due movimenti [p<0,001]

tabella 6: impairment del controllo posturale in stazione eretta, in seguito a perturbazioni della base d'appoggio

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Leitner C et al. (2009) ⁴⁹	Reliability of posturographic measurements in the assessment of impaired sensorimotor function in chronic low back pain.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 32 + C 19 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : quite standing, in condizioni di privazione sensoriale (SOT), perturbazioni della base d'appoggio in inclinazione (ADT) o traslazione (MCT)	in LBP, SOT score peggiore [$p < 0,05$], non differenze in ACT e MCT
Popa T et al. (2007) ⁴⁸	Adaptive changes in postural strategy selection in chronic low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 13 + C 13 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : quite standing, occhi aperti/chiusi; traslazione posteriore della base d'appoggio (4x)	in quite standing, correlazione tra LBP e visione nell'ampiezza CoPsway [$p < 0,01$]; non correlazione tra LBP e perturbazione nel CoP
Henry SM et al. (2006) ⁴⁷	Decreased limits of stability in response to postural perturbations in subjects with low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 26 + C 24 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : in quite standing, perturbazioni della base d'appoggio (12 direzioni, ogni 30°)	in LBP, CoPsway di minore entità (piano sagittale) e a maggiore latenza (piani sagittale e frontale) [$p < 0,01$]; in LBP, CoMsway anteroposteriore di maggiore entità e maggiore latenza [$p < 0,05$]
della Volpe R et al. (2006) ⁴⁶	Changes in coordination of postural control during dynamic stance in chronic low back pain patients.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 12 + C 12 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : quite standing (20"/condizione), occhi aperti/chiusi e senza/con perturbazione della base d'appoggio	in perturbazione della base d'appoggio, CoPsway e velocità LBP > C sul piano sagittale [$p < 0,0001$], non sul piano frontale [$p > 0,05$]

tabella 7: impairment del controllo posturale in stazione eretta, in combinazione con task cognitivo

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Sherafat S et al. (2014) ⁵³	Effect of dual-tasking on dynamic postural control in individuals with and without nonspecific low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 15 + C 15 <u>strumenti di valutazione</u> : balance platform + modified Stroop test <u>procedura</u> : stable/unstable standing (occhi aperti/chiusi), -/+ task cognitivo (4x/combinazione, 30"/prova)	nel LBP, performance peggiori negli indici di stabilità in interazione con i task cognitivi [$p < 0,05$]
Mazaheri M et al. (2010) ⁵¹	Postural sway in low back pain: Effects of dual tasks.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 22 + C 22 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : stable/unstable standing (occhi aperti/chiusi), con/senza task cognitivo (semplice/complesso)	interazione tra LBP e task cognitivi, nei parametri RQA sul piano sagittale [$p < 0,05$]
Salavati M et al. (2009) ⁵⁰	Effect of dual-tasking on postural control in subjects with nonspecific low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 22 + C 22 <u>strumenti di valutazione</u> : force platform <u>procedura</u> : stable/unstable standing (occhi aperti/chiusi), con/senza task cognitivo (semplice/complesso)	non interazione tra LBP e difficoltà del task posturale o del task cognitivo [$p > 0,05$]

tabella 8: variazioni nell'attività muscolare anticipatoria, in seguito a perturbazione interna

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Suehiro T et al. (2015) ⁶³	Individuals with chronic low back pain demonstrate delayed onset of the back muscle activity during prone hip extension.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 20 + C 20 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : prone hip extension PHE (3x + 1' riposo/prova)	ipsiMF, contrMF e contrES onset ritardato in LBP [p=0.001]
Massé-Alarie H et al. (2015) ⁶²	Task-specificity of bilateral anticipatory activation of the deep abdominal muscles in healthy and chronic low back pain populations.	cross-sectional study	<u>popolazione</u> : LBP 12 + C 13 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : flessione bilaterale AASS (10x) e PHE unilaterale (3x/lato)	onset TrA/IO anticipato su deltoide (bilateralmente) e su semitendinoso (controlateralmente), senza differenze tra i due gruppi [p>0,05]
Hedayati R et al. (2014) ⁶¹	The study of the variability of anticipatory postural adjustments in patients with recurrent non-specific low back pain.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 21 + C 21 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : elevazione dell'AS (75x, riposo ogni 20x)	ridotta variabilità delle reazioni anticipatorie di TrA/IO [p<0,05]
Massé-Alarie H et al. (2012) ⁶⁰	Corticomotor control of deep abdominal muscles in chronic low back pain and anticipatory postural adjustments.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 13 + C 9 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG, TMS <u>procedura</u> : 10 rapide flessioni di AS, MEP	in LBP, ipsiTrA/IO ad onset ritardato e minore durata della co-contrazione [p<0,05]; in CLBP, segni di alterazione della programmazione anticipatoria di TrA/IO in M1
Jacobs JV et al. (2010) ⁵⁹	Low back pain associates with altered activity of the cerebral cortex prior to arm movements that require postural adjustment.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 10 + C 10 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG, EEG <u>procedura</u> : in posizione seduta, rapida elevazione AS (ogni 10", 125x)	in LBP, correlazione tra ritardata latenza onset anticipatori e potenziali pre-motori minori [p<0,05], e diversa distribuzione topografica di attivazione corticale [p<0,05]
MacDonald D et al. (2009) ⁵⁸	Why do some patients keep hurting their back? Evidence of ongoing back muscle dysfunction during remission from recurrent back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 15 + C 19 <u>strumenti di valutazione</u> : EMG <u>procedura</u> : flessione/estensione di spalla (15x/direzione/arto)	onset anticipato delle fibre corte in C, nessuna differenza tra f. corte o lunghe in LBP [p<0,05]; onset ritardato delle f. corte in LBP rispetto C [p<0,05]

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Tsao H et al. (2008) ⁵⁷	Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain.	case-control study	<u>popolazione</u> : LBP 11 + C 11 <u>strumenti di valutazione</u> : EMG, stimolazione magnetica transcranica TMS <u>procedura</u> : potenziali motori evocati MEP, flessione/estensione AS (10x/direzione)	“map volume” corticale di TrA maggiore in LBP [p<0,001], correlata alla sua più lenta attivazione nel movimento AS [p<0,001]; TrA CoG più posteriore e laterale in LBP [p<0,011], correlato all’onset ritardato di TrA [p<0,033]
Hodges PW (2001) ⁵⁶	Changes in motor planning of feed-forward postural responses of the trunk muscles in low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 14 + C 14 <u>strumenti di valutazione</u> : EMG <u>procedura</u> : in quiet standing, flessione/abduzione spalla a diversi gradi di preparazione	in LBP, tempi di reazione TrA maggiori con incorretta preparazione [p<0,05]; in LBP, onset TrA non cresce con il diminuire della prevedibilità [p<0,05]
Hodges PW et al. (1999) ⁵⁵	Altered trunk muscle recruitment in people with low back pain with upper limb movement at different speeds.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 14 + C 14 <u>strumenti di valutazione</u> : EMG <u>procedura</u> : flessione dell'AS in 3 diverse velocità slow/intermediate/fast (10x/velocità)	TrA e IO onset controlaterale ritardati nei movimenti fast (solo ES mantiene attività anticipatoria) [p<0,05]; TrA onset controlaterale ritardato in movimenti intermediate [p<0,001]; non differenze nei movimenti slow [p>0,05]
Hodges PW et al. (1996) ⁵⁴	Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 15 + C 15 <u>strumenti di valutazione</u> : EMG <u>procedura</u> : random flessione/ abduzione/ estensione dell'AS (10x/direzione)	in LBP, onset ritardato e molto variabile di TrA, in tutte le direzioni [p<0,01]; anche onset di EO e IO ritardato in flessione [p<0,05]

tabella 9: variazioni nell'attività muscolare anticipatoria, in seguito a perturbazione esterna

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Jones SL et al. (2012b) ⁷²	Individuals with non-specific low back pain in an active episode demonstrate temporally altered torque responses and direction-specific enhanced muscle activity following unexpected balance perturbations.	studio di coorte	<u>popolazione</u> : LBP 16 + C 16 <u>strumenti di valutazione</u> : markers + videocamere, sEMG <u>procedura</u> : perturbazioni random radiali ogni 30° (3x/direzione)	latenza movimenti LBP < C sul piano sagittale (tutto AI e tronco) e frontale (caviglia e tronco) [p<0,05]; in LBP, TA azione maggiore in perturbazioni anteriori [p≤0,0002], TS azione maggiore in perturbazioni posteriori o minore in perturbazioni anteriori [p<0,0001]; in LBP, asimmetria negli onset dei muscoli del tronco, con attività aumentata col tempo [p<0,05]
Jones SL et al. (2012a) ⁷¹	Individuals with non-specific low back pain use a trunk stiffening strategy to maintain upright posture.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 20 + C 21 <u>strumenti di valutazione</u> : markers + videocamere, sEMG <u>procedura</u> : perturbazioni random radiali ogni 30° (3x/direzione)	in LBP, movimento del tronco ridotto sul piano frontale per tutte le direzioni di perturbazione [p=0,03]; LBP > C in attività muscolare (%max) del tronco e degli arti, in tutte le fasi e direzioni di perturbazione
Jacobs JV et al. (2011) ⁷⁰	A history of low back pain associates with altered electromyographic activation patterns in response to perturbations of standing balance.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 24 + C 21 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : perturbazioni random radiali ogni 30° (3x/direzione)	in LBP, incidenza risposta muscolare inferiore in fase precoce nelle direzioni posteriori (IO e TS), e tardiva in tutte le direzioni (tutti eccetto TS e RA) [p<0,004]; ampiezza EMG maggiore in fase anticipatoria in direzioni latero-anteriori (ES), e in fase tardiva in direzione posteriore (TS) [p<0,004]
MacDonald D et al. (2010) ⁶⁹	People with recurrent low back pain respond differently to trunk loading despite remission from symptoms.	cross-sectional study	<u>popolazione</u> : LBP 13 + C 14 <u>strumenti di valutazione</u> : EMG <u>procedura</u> : in quiet standing, carico agli AASS previsto/non previsto (1 kg)	durante il carico previsto, onset deepMF LBP < C in fase anticipatoria/successiva al carico; durante il carico non previsto, onset deepMF LBP < C successivo al carico; durante il carico previsto, superfMF non aumenta ma anticipa nel lato sintomatico; durante il carico non previsto, onset superfMF in LBP maggiore dal lato sintomatico

<i>autore (anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>tipo di studio</i>	<i>materiali e metodi</i>	<i>risultati</i>
Thomas JS et al. (2007) ⁶⁸	The effect of chronic low back pain on trunk muscle activations in target reaching movements with various loads.	cross-sectional study	<u>popolazione</u> : LBP 19 + C 19 <u>strumenti di valutazione</u> : markers + videocamera, sEMG <u>procedura</u> : random reaching in 3 altezze target + 3 carichi diversi	tempo di movimento LBP > C [p<0,01]; in LBP, onset ritardati per ES e MF [p<0,05], senza differenze tra altezze target o carichi
Leinonen V et al. (2007) ⁶⁷	Low back pain suppresses preparatory and triggered upper-limb activation after sudden upper-limb loading.	cross-sectional study	<u>popolazione</u> : LBP 29 + C 22 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : in quiet standing, carico agli AASS con/senza supporto posturale e occhi aperti/chiusi (3x/condizione)	attività muscolare in condizione occhi aperti / senza supporto LBP < C basale [p=0,035], 100-150 ms dopo perturbazione [p=0,010]
Stokes IA et al. (2006) ⁶⁶	Trunk muscular activation patterns and responses to transient force perturbation in persons with self-reported low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 21 + C 23 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : in standing, perturbazione applicata al tronco (alto/basso pre-carico)	in LBP, pre-attivazione maggiore dei muscoli dorsali [p<0,01], ma senza differenza nella probabilità di risposta
Newcomer KL et al. (2002) ⁶⁵	Muscle activation patterns in subjects with and without low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 20 + C 20 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : in quiet standing, 5 set di perturbazioni (16x/set: anteriore media/grande, posteriore media/grande, toes-up)	attivazione muscolare RA, LBP < C in perturbazione toes-up [p=0,018]; in simmetria di attivazione, LBP < C in perturbazione media anteriore in ES e RA [p=0,03]
Radebold A et al. (2000) ⁶⁴	Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain.	observational study	<u>popolazione</u> : LBP 17 + C 17 <u>strumenti di valutazione</u> : sEMG <u>procedura</u> : in upright position, perturbazioni del tronco in flessoestensione o side-bending (20-30% max forza isometrica)	pattern di co-contrazione agonisti-antagonisti LBP > C (tranne in flessione) [p<0,01], tempi di reazione onset/offset LBP > C [p<0,01]

legenda

LBP gruppo sperimentale low back pain _ C gruppo di controllo

(s)EMG elettromiografia (di superficie)

EEG elettroencefalogramma _ TSM stimolazione magnetica transcranica, MEP potenziale motorio evocato

CoG centro di gravità, CoP centro di pressione, CoM centro di massa, LoS area di stabilità

VAS visual analogic scale, NRS numeric rating scale; ODI Oswestry disability index

AS/AASS arto/i superiore/i, AI/AAIL arto/i inferiore/i _ ipsi ipsilaterale, contr controlaterale

MF m. multifido, ES m. erector spinae, TrA m. transversus abdominis, IO m. internal oblique, EO m. external oblique, RA m. rectus abdominis _ GM m. grande gluteo, TS m. tricipite surale/gastrocnemio/gemello mediale, TA m. tibiale anteriore

tabella 10: articoli esclusi dalla revisione, dopo il secondo processo di selezione

<i>autore (giornale, anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>motivo di esclusione</i>
Claeys K et al. (J Electromyogr Kinesiol, 2015)	Young individuals with a more ankle-steered proprioceptive control strategy may develop mild non-specific low back pain.	disegno dello studio
Kiers H et al. (Hum Mov Sci, 2015)	Postural sway and integration of proprioceptive signals in subjects with LBP.	popolazione ristretta oggetto di studio
Gawda P et al. (Ann Agric Environ Med, 2015)	Evaluation of influence of stretching therapy and ergonomic factors on postural control in patients with chronic non-specific low back pain.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Schellendorfer S et al. (Gait Posture, 2015)	Low back pain and postural control effects of task difficulty on centre of pressure and spinal kinematics.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Li R et al. (Chin Med J, 2014)	Comparison of postural control between healthy subjects and individuals with non-specific low back pain during exposure to visual stimulus.	scarsa qualità metodologica nella valutazione dei soggetti
Sipko T et al. (J Manipulative Physiol Ther, 2013)	The effect of chronic pain intensity on the stability limits in patients with low back pain.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Ruhe A et al. (BMC Musculoskelet Disord, 2011)	Is there a relationship between pain intensity and postural sway in patients with non-specific low back pain?	scarsa qualità metodologica nella valutazione dei soggetti
Marshall P et al. (J Electromyogr Kinesiol, 2010)	Delayed abdominal muscle onsets and self-report measures of pain and disability in chronic low back pain.	manca del gruppo di controllo
Gubler D et al. (Spine, 2010)	Ultrasound tissue Doppler imaging reveals no delay in abdominal muscle feedforward activity during rapid arm movements in patients with chronic low back pain.	scarsa qualità metodologica nella valutazione dei soggetti
Larivière C et al. (Eur J Appl Physiol, 2010)	The effect of sex and chronic low back pain on back muscle reflex responses.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Mehta R et al. (J Mot Behav, 2010)	Altered trunk motor planning in patients with nonspecific low back pain.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Silfies SP et al. (Arch Phys Med Rehabil, 2009)	Differences in feedforward trunk muscle activity in subgroups of patients with mechanical low back pain.	gruppo sperimentale affetto da lombalgia a causa specifica

<i>autore (giornale, anno)</i>	<i>titolo</i>	<i>motivo di esclusione</i>
Jacobs JV et al. (Behav Neurosci, 2009)	People with chronic low back pain exhibit decreased variability in the timing of their anticipatory postural adjustments.	manoscritto dell'autore
Ferguson SA et al. (Clin Biomech, 2004)	Differences in motor recruitment and resulting kinematics between low back pain patients and asymptomatic participants during lifting exertions.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Brumagne S et al. (Neurosci Lett, 2004)	Proprioceptive weighting changes in persons with low back pain and elderly persons during upright standing.	scarsa qualità metodologica nella valutazione dei soggetti
Mok NW et al. (Spine, 2004)	Hip strategy for balance control in quiet standing is reduced in people with low back pain.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Hamaoui A et al. (Neurosci Lett, 2004)	Postural sway increase in low back pain subjects is not related to reduced spine range of motion.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Brumagne S et al. (Spine, 2000)	The role of paraspinal muscle spindles in lumbosacral position sense in individuals with and without low back pain.	scarsa qualità metodologica nella valutazione dei soggetti
Luoto S et al. (Spine, 1998)	One-footed and externally disturbed two-footed postural control in patients with chronic low back pain and healthy control subjects. A controlled study with follow-up.	differenze statisticamente significative tra gruppo sperimentale e gruppo di controllo
Hodges PW et al. (J Spinal Disord, 1998)	Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb.	full-text non reperibile
Wilder DG et al. (Spine, 1996)	Muscular response to sudden load. A tool to evaluate fatigue and rehabilitation.	gruppo sperimentale affetto da lombalgia a causa specifica
Luoto S et al. (Spine, 1996)	Psychomotor speed and postural control in chronic low back pain patients A controlled follow-up study.	gruppo sperimentale affetto da lombalgia a causa specifica

Di seguito, articolo per articolo, i contenuti della revisione.

Per ognuno degli articoli esposti, dove non indicato diversamente, la significatività statistica dei risultati emersi dagli studi, era adottata dagli autori a $p < 0,05$.

Controllo posturale in posizione seduta

Radebold A et al. (2001) ^[22] hanno richiesto a 16 soggetti con LBP (> 6 mesi) e 14 soggetti di controllo, di mantenere l'equilibrio su una piattaforma a diversi gradi d'instabilità (quattro livelli crescenti), con e senza afferenza visiva. Inoltre, in posizione semi-seduta vincolata agli arti inferiori, i soggetti sono stati sottoposti ad una perturbazione inattesa (riduzione di una resistenza applicata al tronco, durante movimenti in flessoestensione o inclinazione laterale), misurandone la risposta muscolare tramite EMG.

Nel compito di balance, i soggetti con LBP hanno dimostrato maggiore dipendenza dall'afferenza visiva al crescere della difficoltà (69% di successo al massimo livello di difficoltà ad occhi aperti, ad occhi chiusi 13%), e parametri di oscillazione del CoP significativamente maggiori [$p < 0,05$] rispetto ai controlli.

In seguito alla perturbazione a carico del tronco, nei soggetti con LBP la latenza era maggiore nell'onset dei muscoli antagonisti (controlaterali alla direzione di perturbazione) in tutte le direzioni (es. in side-bending 80 ± 16 vs 70 ± 13 ms), e nell'offset dei muscoli agonisti (omolaterali alla perturbazione) sul piano sagittale (es. in flessione 68 ± 40 vs 53 ± 37 ms).

Van Daele U et al. (2009) ^[23], tramite un sistema di videocamere più markers riflettenti, hanno analizzato il movimento del tronco e della pelvi di 19 soggetti con LBP (> 3 mesi) a confronto con 20 soggetti di controllo, durante il mantenimento dell'equilibrio su una superficie instabile (senza afferenza visiva, con appoggio di un solo arto inferiore) per 20 s.

Nei soggetti con LBP, le deviazioni erano significativamente maggiori per la pelvi in direzione anteroposteriore e in rotazione (in rotazione: $89,09 \pm 60,92^\circ$ vs $57,18 \pm 32,65^\circ$), per il tronco in direzione anteroposteriore e laterale (in direzione laterale: $64,74 \pm 43,11^\circ$ vs $40,30 \pm 16,09^\circ$) [$p < 0,05$], e la correlazione tra le due devia-

zioni (di tronco e pelvi) nella strategia di equilibrio era maggiore in tutte le direzioni (es. in direzione anteroposteriore: Pearson c.c. 0,912 vs 0,629) [$p < 0,0001$].

Lo stesso gruppo (2010) ^[24] combina il medesimo compito di equilibrio (seduta instabile, senza afferenza visiva e con due o un piede in appoggio) con un compito cognitivo (conta decrescente in step di tre), a 21 soggetti con LBP (> 3 mesi) e 21 soggetti di controllo, valutati con un sistema di motion tracking.

Nei soggetti con LBP, nel mantenimento dell'equilibrio a ridotta difficoltà con contemporaneo compito cognitivo, aumentavano le oscillazioni del CoP similmente al gruppo di controllo; in caso di maggiore difficoltà, diminuivano le oscillazioni nel dual task rispetto al solo compito motorio nei soggetti con LBP, diversamente dai controlli nei quali le oscillazioni incrementavano (differenza per la rotazione e lateroflessione della pelvi [$p < 0,05$]).

Willigenburg NW et al. (2012) ^[25] valutano il contributo di un feedback visivo (target grande o piccolo) e della propriocezione dei muscoli paraspinali (tramite vibrazione), sul mantenimento dell'equilibrio in posizione semi-seduta (vincolata agli arti inferiori), in 20 soggetti con LBP (> 6 settimane) e 13 soggetti di controllo; l'apparato di valutazione comprendeva markers riflettenti e videocamera, più EMG di superficie per i muscoli del tronco.

Nei soggetti con LBP, le performance rispetto al gruppo di controllo non erano significativamente differenti, anche se le performance di entrambi i gruppi erano peggiori con un feedback di dimensioni maggiori o con la vibrazione muscolare [$p \leq 0,003$], e non vi erano differenze nell'attività muscolare. Il LBP influiva significativamente nell'accuratezza dell'equilibrio (ampiezza delle oscillazioni) in tutte le condizioni variabili [$p < 0,001$] {figura 1}.

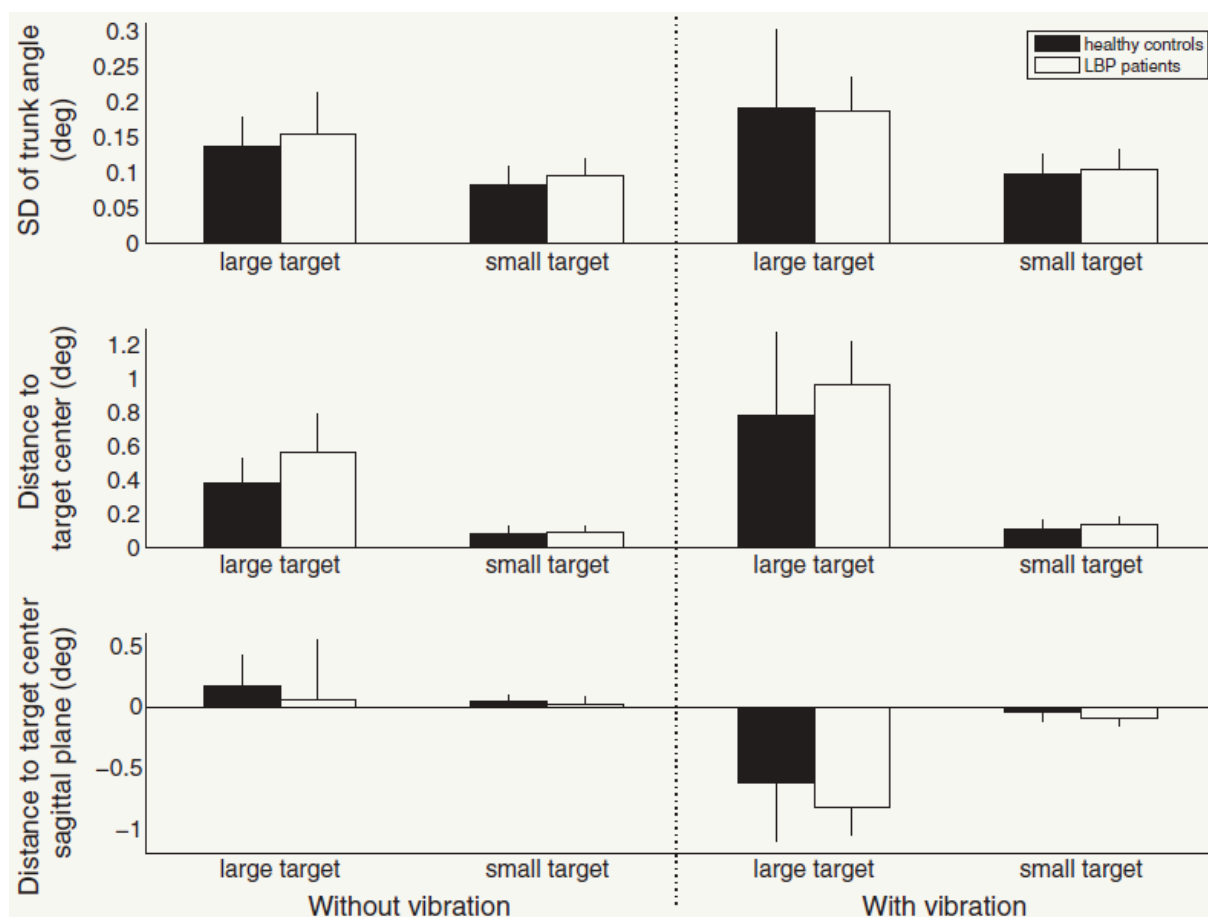


figura 1: Willigenburg NW et al. (2012) _ precisione (pannello superiore) e accuratezza (pannelli medio e inferiore) del controllo posturale [bianco: LBP; nero: C]

Il medesimo team (2013) ^[26] ripete uno studio simile, nel quale la seduta è resa instabile, aggiungendo all'apparato di valutazione una force platform; 20 soggetti con LBP (> 6 settimane) e 11 soggetti di controllo devono mantenere la posizione in condizione base (occhi aperti, senza vibrazione dei muscoli paraspinali), in condizione di vibrazione muscolare, in assenza di afferenza visiva.

Nei soggetti con LBP, minore accuratezza nei coefficienti del CoP, significativamente rispetto al controllo sul piano frontale [$p=0,044$]; non differenze significative tra le diverse condizioni di difficoltà. In LBP, la postura di base del tronco era 20° più eretta [$p=0,007$], e durante il compito di balance i movimenti toraco-lombari erano maggiori [$p=0,005$] (correlazione più negativa tra angoli dei segmenti toracici e lombari, e rapporto muscoli longissimus/ileocostalis minore [$p<0,05$]).

Freddolini et al. (2014) ^[27] hanno sottoposto 23 soggetti con LBP (> 6 settimane) e 31 soggetti di controllo, ad un tilt inatteso (posteriore, 20°) della piattaforma di seduta, chiedendo quindi di raggiungere una posizione di equilibrio: l'apparato di va-

lutazione comprendeva una force platform, un sistema di monitoraggio del movimento lombare ed EMG di superficie ai muscoli paraspinali.

I soggetti con LBP erano in grado di portare a termine il compito così come il gruppo di controllo (con simili parametri cinematici, ma significativo maggior momento angolare coxo-femorale: media quadratica $0,44 \pm 0,11$ vs $0,35 \pm 0,11$ °/s); l'attivazione muscolare presentava tempi di reazione medi ridotti, e percentuali di co-contrazione maggiori (35,2% vs 12,6%).

Controllo posturale in one-leg standing

Sung PS et al. (2010) ^[28], tramite un sistema di markers riflettenti full-body più videocamere (discriminando core spine e rachide lombare), hanno misurato il tempo di tenuta (relative holding time) e la stabilità (relative standstill time) del rachide, in 26 soggetti con LBP (> 2 mesi) e 28 soggetti di controllo, con e senza afferenza visiva per 25 s, discriminando tra il lato dominante e quello non dominante.

Con afferenza visiva, non vi era differenza significativa tra i due gruppi.

Ad occhi chiusi, i soggetti con LBP dimostravano peggiori performance sia in RHT ($0,76 \pm 0,31$ vs $0,94 \pm 0,19$ per il rachide lombare [$p < 0,01$]) sia in RST ($0,31 \pm 0,27$ vs $0,52 \pm 0,24$ per il core spine [$p < 0,01$]), senza significative differenze tra i due arti inferiori.

Il contesto sperimentale è stato ripetuto da Ham YW et al. (2010) ^[29], mantenendo la medesima procedura (discriminando tra rachide toracico superiore o inferiore, rachide lombare o root spine).

Il tempo di tenuta (normalized hold duration) era significativamente diverso tra i gruppi, in relazione all'afferenza visiva [$p=0,009$] {figura 2}.

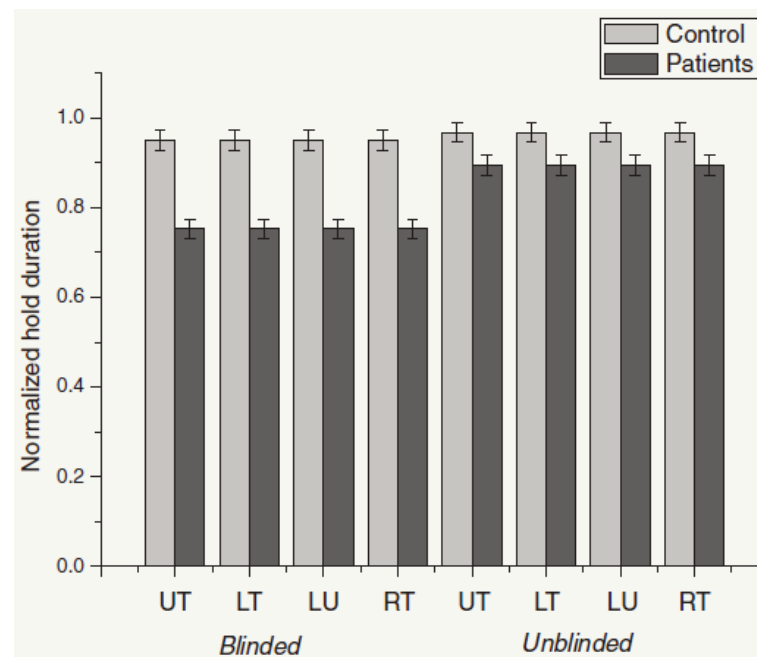


figura 2: Ham YW et al. (2010) _ tempo di tenuta normalizzato
[UT rachide toracico superiore; LT r. toracico inferiore; LU r. lombare; RT root spine]

La stabilità (normalized stability) era significativamente differente tra i gruppi, in relazione sia al feedback visivo sia all'area del rachide [$p=0,0001$] (non differenze nel rachide lombare) {figura 3}. Non differenze significative tra i due arti inferiori (dominante e non dominante).

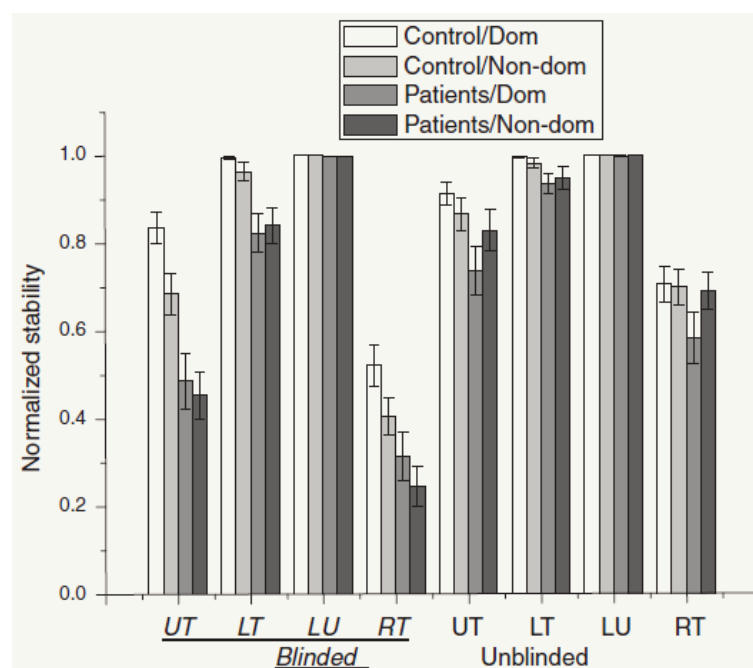


figura 3: Ham YW et al. (2010) _ stabilità normalizzata [dom: dominante; non-dom: non dominante]
[UT rachide toracico superiore; LT r. toracico inferiore; LU r. lombare; RT root spine]

Lo stesso apparato sperimentale è stato usato da Jo HJ et al. (2011) ^[30] per analizzare il tempo di tenuta e la stabilità con focus sull'arto inferiore (suddiviso in pelvi, coscia, gamba e piede): per entrambi i parametri, i soggetti con LBP avevano performance peggiori [$p=0,007$] (tempo di tenuta $20,5\pm6,7$ vs $24,6\pm4,2$ s), con differenze significative tra arto inferiore dominante e non dominante [$p=0,003$].

Lee DC et al. (2012) ^[31] hanno ripetuto l'esperimento precedente ^[30], aggiungendo l'afferenza visiva come ulteriore condizione sperimentale: la mancanza di feedback visivo riduceva la stabilità dei soggetti con LBP in tutte le condizioni, con significatività anche per l'arto inferiore usato (dominante/non dominante).

Sung PS e Leininger PM (2015) ^[32] ripropongono lo stesso apparato sperimentale ^[28], analizzando la stabilità cinetica (da force platform) e cinematica (da markers e videocamere), in relazione all'afferenza visiva: i soggetti con LBP dimostravano dipendenza dal feedback visivo nella stabilità sia cinetica sia cinematica; nell'analisi cinematica {figura 4}, la regione lombare risultava la più stabile rispetto alle altre (toracica superiore o inferiore, core spine) [$p=0,001$].

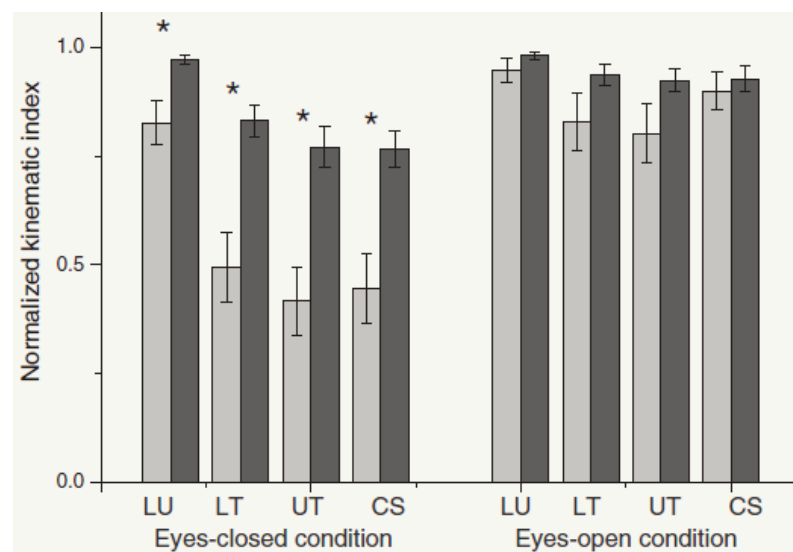


figura 4: Sung PS e Leininger PM (2015)) _ indice di stabilità cinematica normalizzato [$*p<0,05$]
 [LU rachide lombare; LT r. toracico inferiore; UT r. toracico superiore; CS core spine]
 [LBP grigio chiaro; C grigio scuro]

Controllo posturale in stazione eretta, con variazione delle afferenze

Alexander KM e LaPier TL (1998) ^[33] comparano equilibrio statico (con o senza afferenza visiva, 20 s/prova) e distribuzione del peso tra gli arti inferiori (30 s, con feedback visivo) in 15 soggetti con LBP unilaterale (> 3 mesi) e 15 soggetti di controllo, attraverso una force platform.

I soggetti con LBP dimostravano varianze maggiori nei parametri del CoP rispetto ai controlli: ad occhi aperti, solo nell'escursione del CoP totale (varianze 7,17 vs 0,97 [p=0,019]) e sul piano sagittale (varianze 3,21 vs 0,50 [p=0,015]); ad occhi chiusi, in tutti i parametri sul piano sagittale (varianze 5,54 vs 1,07 [p=0,009]), sul piano frontale (varianze 0,84 vs 0,24 [p=0,0001]), escursione totale (varianze 8,07 vs 1,50 [p=0,001]), % del limite di stabilità (varianze 113,46 vs 16,02 [p=0,025]).

Differenze non significative nella distribuzione del peso tra gli arti inferiori.

Mientjes MI e Frank JS (1999) ^[34], a 8 soggetti con LBP (> 3 mesi) e 8 soggetti di controllo, propongono un incremento della difficoltà del compito di equilibrio statico, inserendo diverse perturbazioni afferenziali: visiva (occhi aperti o chiusi), vestibolare (capo in asse, o in tilt posteriore), propriocettiva (superficie d'appoggio rigida o morbida), orientamento corporeo (ortostatismo o proiezione anteriore). L'apparato sperimentale comprendeva una force platform ed un sistema di motion analysis.

La media quadratica delle oscillazioni del CoP sul piano frontale differenzia maggiormente i due gruppi {figura 5}; quiet standing ad occhi chiusi su superficie rigida, con capo in asse e corpo proiettato in avanti, è la condizione che mostra più disparità tra i due gruppi (task n. 6) {figura 5}.

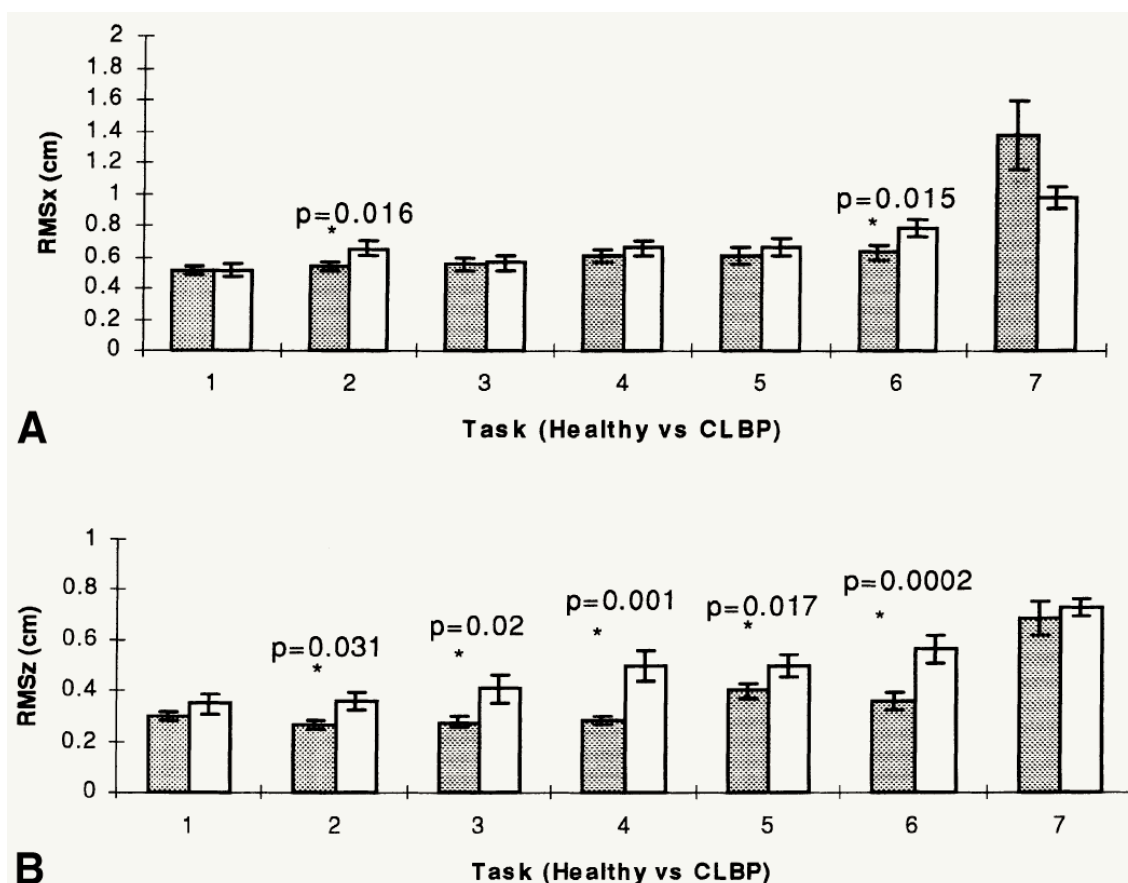


figura 5: Mientges MI e Frank JS (1999) _ media quadratica CoP sul piano sagittale (A) e sul piano frontale (B)
[LBP: area bianca; C: area grigia]

Al motion analysis system, i soggetti con LBP mostravano una ridotta estensione di ginocchio (- 2,8-4,2° [p<0,02]) rispetto ai soggetti di controllo, senza altre differenze significative.

Lafond D et al. (2009) ^[35] analizzano, tramite force platform, i cambiamenti nel CoP di 12 soggetti con LBP cronico (> 6 mesi) e 12 soggetti di controllo, prima (60 s), durante e dopo (60 s) un periodo di standing prolungato (30 minuti).

Durante il periodo prolungato di standing, per i soggetti con LBP rispetto ai controlli, la media quadratica di oscillazioni del CoP era minore (sul piano sagittale [p=0,049]), con minore frequenza di oscillazione (sui piani sagittale e frontale [p<0,001]), e minore velocità (sul piano frontale [p<0,001]) {figura 6, in alto}.

Durante i due periodi di standing precedente e successivo, i soggetti con LBP (rispetto ai controlli) mostravano parametri di CoP maggiori sul piano sagittale, minori sul piano frontale, con minori frequenze e maggiori aree di oscillazioni [p<0,001] {figura 6, in basso}.

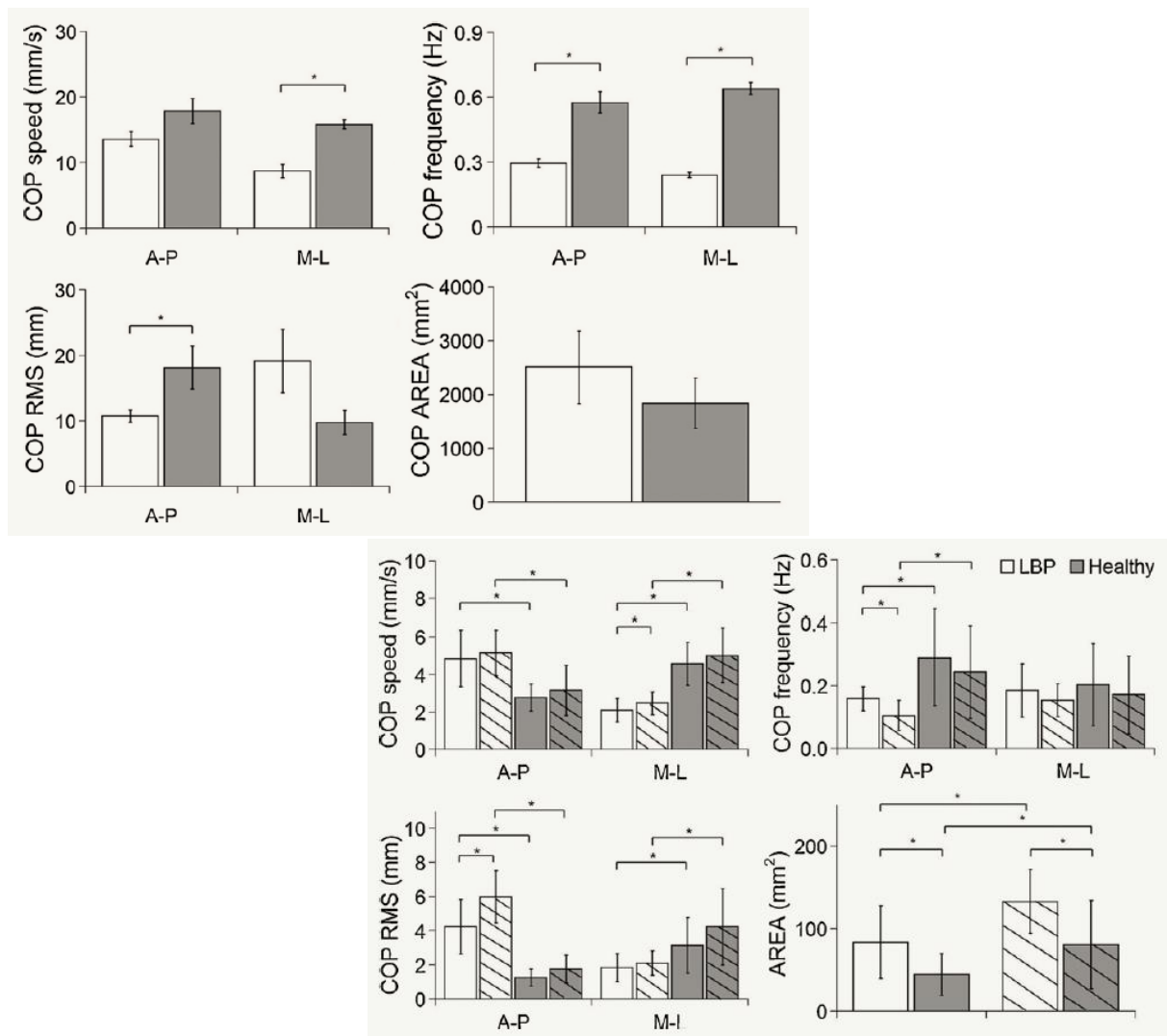


figura 6: Lafond D et al. (2009) [LBP: area bianca; C: area grigia]
in alto _ parametri CoP durante standing prolungato (30 minuti) [*p<0,05]
in basso _ parametri CoP durante quiete standing (60 s) prima [tinta unita] e dopo [trama]
standing prolungato [*p<0,05]

Yahia A et al. (2011) ^[36] hanno valutato se esistesse una correlazione tra la forza muscolare (del tronco, o per gli arti inferiori al ginocchio) e la postura (standing su superficie rigida o morbida, con e senza afferenza visiva), in 30 soggetti con LBP cronico (> 3 mesi) e 30 soggetti di controllo, tramite dinamometro (forza isocinetica a 60 e 90 °/s) e force platform.

Nei soggetti con LBP rispetto ai controlli, la forza isocinetica era significativamente inferiore nei muscoli estensori del tronco [p<0,005] (ad esempio, a 60°/s in N*m: 75,7±42,01 vs 144,8±59,3) e nei muscoli flessori ed estensori del ginocchio [p<0,05] (ad esempio, in flessione a 120°/s in N*m: 48,5±21,8 vs 67,4±27,2).

Nei soggetti con LBP rispetto ai controlli, i parametri di oscillazione e area di CoP erano significativamente maggiori solo in condizione di superficie instabile

[$p < 0,05$], sia ad occhi aperti (ad esempio, area CoP $595,5 \pm 280,6$ vs $465,03 \pm 210,5$ mm²) sia ad occhi chiusi (ad esempio, oscillazioni CoP $1682 \pm 442,1$ vs $1320 \pm 325,6$ mm).

Forza isocinetica dei muscoli del tronco e postura erano negativamente correlati, in condizione di superficie instabile (sul piano di oscillazione sagittale) [$p < 0,05$].

Johanson E et al. (2011) ^[37] hanno indagato, tramite force platform, se la fatica muscolare (Biering-Sørensen test modificato) alterasse il controllo posturale in 16 soggetti con LBP (> 6 mesi) e 16 soggetti di controllo, su superficie rigida o instabile senza feedback visivo e, in alcune prove, con applicazione di vibrazione ai muscoli multifido o tricipite surale.

Nei soggetti con LBP in condizioni di partenza (rispetto ai controlli), minore stabilità del CoP, soprattutto su superficie instabile [$p < 0,0001$] (ad esempio, media di oscillazioni durante vibrazione del m. tricipite surale: $-0,103 \pm 0,036$ vs $-0,056 \pm 0,019$ m), con maggior ricorso ad una strategia posturale di caviglia [$p < 0,05$] (ad esempio, rapporto muscoli tricipite surale/multifido su superficie instabile: $0,86 \pm 0,07$ vs $0,52 \pm 0,16$).

I soggetti con LBP risultavano, inoltre, meno resistenti al Biering-Sørensen test rispetto ai controlli ($127,4 \pm 36,7$ vs $184,0 \pm 40,4$ s [$p < 0,01$]): la fatica muscolare, se riduceva la stabilità nei soggetti di controllo con maggior ricorso ad una strategia di caviglia, sostanzialmente manteneva i risultati in CoP e propriocezione nel gruppo con LBP.

Pijnenburg M et al. (2014) ^[38] hanno cercato alterazioni nella microstruttura della sostanza bianca del sistema nervoso centrale (encefalo e tronco encefalico, tramite risonanza magnetica), e loro associazioni con impairment nel controllo posturale, in 18 soggetti con LBP e 18 soggetti di controllo: tramite una force platform, i soggetti sperimentavano la stazione eretta su superficie rigida o morbida, con vibrazione dei muscoli tricipite surale o multifido.

Nei soggetti con LBP, pur senza differenze significative nei termini del CoP rispetto ai controlli, sono stati individuati alla RMN parametri correlabili alle oscillazioni del CoP: alterazioni della sostanza bianca del peduncolo cerebellare superiore sono correlabili ad un maggiore ricorso alla strategia di caviglia (ad esempio, per la diffusione media MD: in stable standing, $r = 0,65$; in unstable standing, $r = 0,66$ [$p = 0,003$]; per l'anisotropia frazionale FA: in unstable standing, $r = -0,73$ [$p = 0,001$]).

Caffaro RR et al. (2014) ^[39] hanno sottoposto 21 soggetti con LBP (> 12 settimane) e 23 soggetti di controllo, a prove di standing (su force platform, 10 s per prova), con o senza afferenza visiva e su supporto stabile o instabile: nei soggetti con LBP, i parametri del CoP erano in genere aumentati, con significatività nella condizione di supporto instabile senza feedback visivo (differenza media tra controllo e LBP: oscillazioni totali -245,05 cm [$p<0,001$]; area di oscillazione -7,82 cm² [$p=0,002$]; velocità di oscillazione -2,42 cm/s) [$p=0,01$].

Controllo posturale in stazione eretta, in seguito a movimento di un segmento

Per valutare i movimenti preparatori nella regione lombare, derivate da una perturbazione interna, Mok NW et al. (2007) ^[40] hanno esaminato, tramite un sistema di motion tracking, 10 soggetti con LBP e 10 soggetti di controllo, durante un'elevazione bilaterale degli arti superiori (60°), su supporto stabile o su una base d'appoggio di dimensioni ridotte.

Movimenti preparatori in estensione del rachide lombare erano presenti in 69% dei soggetti con LBP e 88% dei controlli: una estensione, di ampiezza simile ai due gruppi (LBP $2,8\pm3,2^\circ$ vs C $2,7\pm1,6^\circ$), precedeva una flessione, aumentata nei soggetti con LBP ($3,2\pm1,8^\circ$ vs $1,8\pm1,6^\circ$) [$p=0,004$].

Nelle prove senza estensione preparatoria, i soggetti con LBP dimostravano un'ampiezza di flessione lombare, durante il movimento degli arti, maggiore (31% casi, $4,8\pm1,6^\circ$) che nelle prove con aggiustamento anticipatorio (69% casi, $2,5\pm1,5^\circ$), ed una correlazione significativa tra i due movimenti ($r=0,47$) [$p<0,001$]: tale differenza non era presente nei controlli.

I dati emersi dalle prove su base d'appoggio ristretta non hanno portato differenze significative per i due gruppi.

Brumagne S et al. (2008a) ^[41] esaminano le variazioni indotte nei termini del CoP (attraverso una force platform), da perturbazioni quali rimozione del feedback visivo, supporto stabile o instabile, vibrazione muscolare (muscoli tricipite surale, tibiale anteriore o multifido) o abduzione bilaterale degli arti superiori, in 21 soggetti con LBP (> 6 mesi) e 24 soggetti di controllo.

I soggetti con LBP presentavano oscillazioni maggiori, rispetto ai controlli, nelle prove su supporto instabile senza afferenza visiva (media quadratica $0,0105 \pm 0,0027$ m vs $0,0087 \pm 0,0029$ m [$p < 0,05$]) o su supporto instabile con movimento degli arti superiori (media quadratica $0,0152 \pm 0,0029$ m vs $0,0083 \pm 0,0033$ m [$p < 0,0001$]).

Nelle prove con vibrazione muscolare su supporto stabile, i soggetti con LBP mostravano maggiore ricorso ad una strategia di caviglia per il mantenimento della postura (rapporto afferenze m. tricipite surale/m. multifido $0,83 \pm 0,06$, maggiore rispetto ai controlli $0,67 \pm 0,13$ [$p < 0,0001$]); nelle prove su supporto instabile, mentre i soggetti di controllo modificavano la propria strategia verso un controllo lombare della postura (maggiori oscillazioni durante la vibrazione del m. multifido, rapporto $0,46 \pm 0,14$), i soggetti con LBP mantenevano la propria strategia di caviglia (rapporto $0,87 \pm 0,07$) [$p < 0,0001$].

Un simile gruppo di studio, Brumagne S et al. (2008b) ^[42], si è concentrato nell'esaminare (tramite force platform e accelerometri) l'inclinazione del CoP durante la stazione eretta in diverse condizioni: con e senza afferenza visiva, con e senza elevazione degli arti superiori, con e senza vibrazione al m. soleo.

56 soggetti con LBP (> 6 mesi) e 33 soggetti di controllo non mostravano differenze nell'inclinazione del corpo quando il feedback visivo era disponibile; in tutte le altre prove, l'interazione era invece significativa [$p < 0,001$]: i soggetti con LBP mostravano un'inclinazione maggiormente anteriore quando la visione era preclusa (+7,4%) e nell'anticipare un'instabilità posturale (movimento degli arti superiori o vibrazione del m. soleo, +19%) {figura 7}.

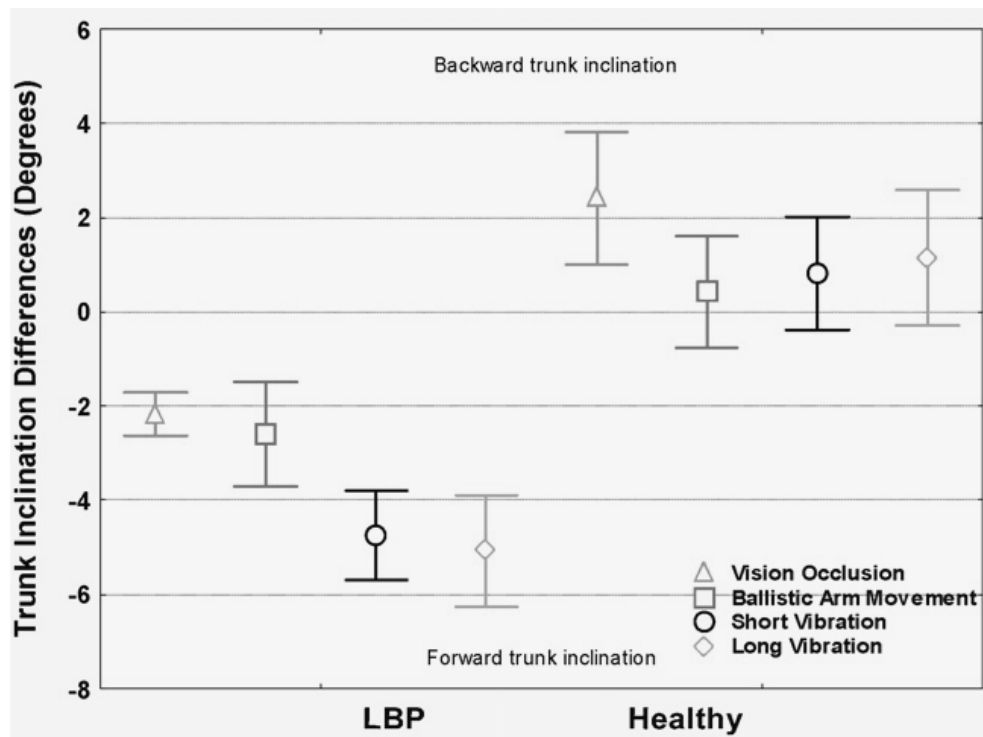


figura 7: Brumagne S et al. (2008b) _ comparazione nell'inclinazione del tronco (°) tra i due gruppi, durante le diverse prove (valori positivi: inclinazione posteriore; valori negativi: inclinazione anteriore)

Mok NW et al. (2011a) ^[43] hanno indagato la risposta posturale in stazione eretta (su una base d'appoggio larga o ristretta), in seguito al rilascio inatteso di un carico (1 kg) agli arti superiori di 11 soggetti con LBP (> 18 mesi) e 11 soggetti di controllo: l'analisi è stata condotta attraverso un sistema di motion tracking e una force platform, senza feedback visivo né uditivo.

In risposta al carico improvviso la regione lombare subiva una traslazione anteriore ed una flessione: nei soggetti con LBP (rispetto ai controlli), l'onset della flessione lombare era ritardato ($187,75 \pm 4,62$ vs $122,11 \pm 2,13$ ms [$p < 0,001$]), con maggior tempo di traslazione; nelle prove su base ristretta, la differenza era accentuata [$p = 0,008$].

Nei soggetti con LBP, inoltre, il tempo di stabilizzazione del CoP era aumentato (761 ± 194 vs 460 ± 123 ms [$p < 0,001$]), così come gli aggiustamenti necessari ($6,1 \pm 2,1$ vs $3,9 \pm 1,1$ [$p < 0,001$]), in entrambe le condizioni di base d'appoggio.

Claeys K et al. (2011) ^[44] hanno sottoposto, valutando tramite force platform e accelerometri, 106 soggetti con LBP e 50 soggetti di controllo a diverse condizioni di prova: stazione eretta su superficie d'appoggio stabile o instabile, con flessione degli arti superiori o vibrazione dei muscoli tricipite surale o multifido; posizione

seduta, con o senza vibrazione muscolare (in tutte le prove, la visione era preclusa).

I soggetti con LBP, rispetto ai controlli, presentavano minori oscillazioni del CoP in stable standing, ma maggiori oscillazioni in stazione eretta su supporto instabile (sia nelle prove di quiete standing, sia nelle prove con movimento degli arti superiori) [$p < 0,0001$] {figura 8, in alto}; nelle prove con vibrazione, i soggetti con LBP presentavano maggiori oscillazioni in caso di vibrazione del m. tricipite surale (significative su supporto stabile), e minori oscillazioni in caso di vibrazione del m. multifido (significativamente su supporto instabile) [$p < 0,0001$] {figura 8, in basso}.

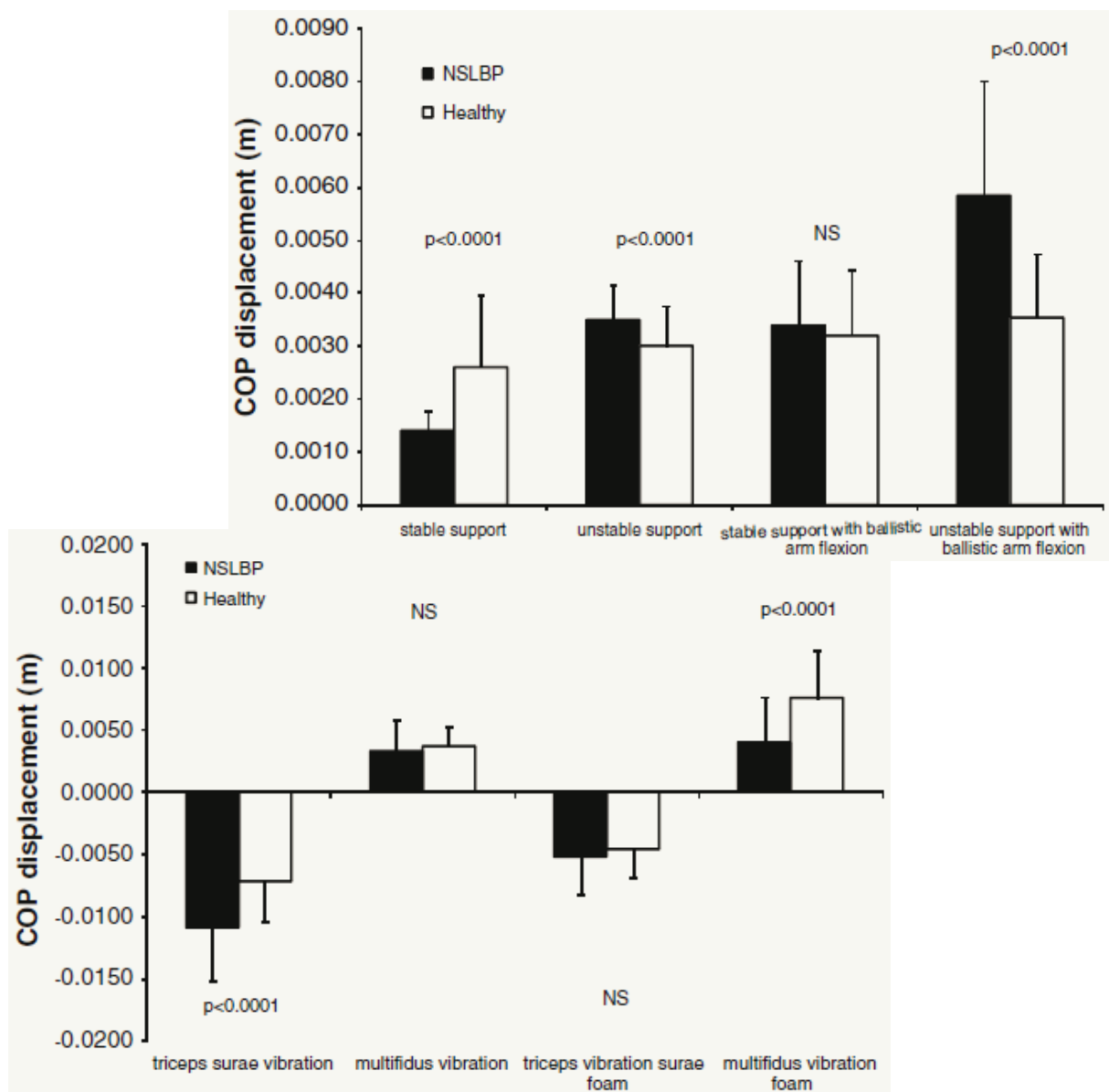


figura 8: Claeys K et al. (2011)

in alto _ variazioni del CoP in mancanza di feedback visivo, su supporto stabile o instabile, anche in seguito a movimento degli arti superiori

in basso _ variazioni del CoP in mancanza di feedback visivo, su supporto stabile o instabile in seguito a vibrazione

Il rapporto tra il peso delle afferenze propriocettive tra m. tricipite surale e m. multifido era a favore di una strategia di caviglia per i soggetti con LBP, in tutte le condizioni [$p<0,0001$] {figura 9}.

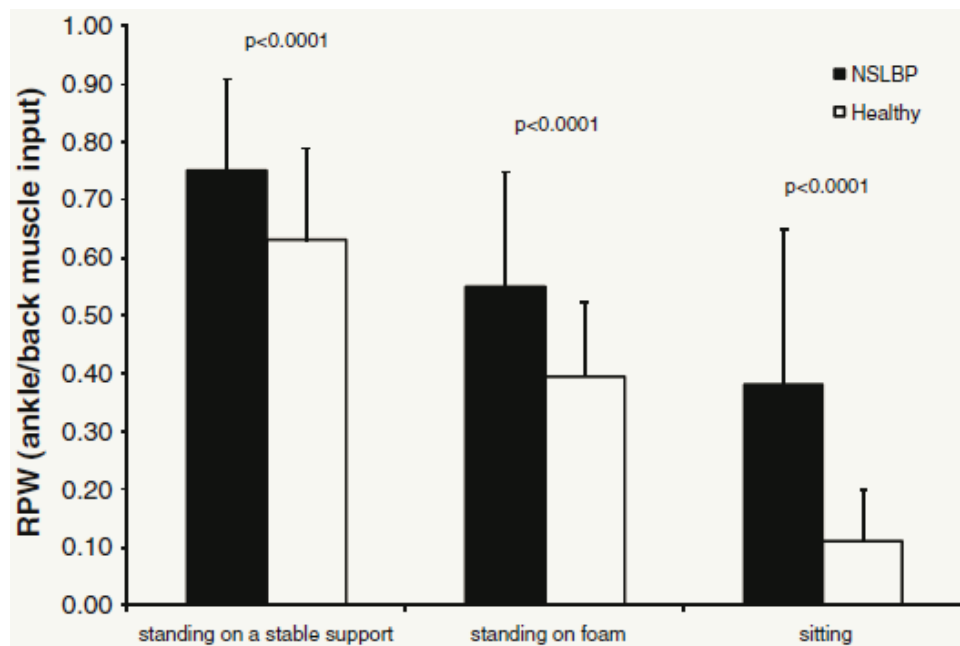


figura 9: Claeys K et al. (2011) _ rapporto tra il peso delle afferenze dal distretto caviglia o rachide.

Mok NW et al. (2011b) ^[45] hanno riproposto il loro precedente esperimento ^[40] per valutare i cambiamenti nel CoP (tramite force platform) in 13 soggetti con LBP (> 18 mesi) e 13 soggetti di controllo, in risposta al movimento degli arti superiori: il tempo di recupero dei parametri iniziali del CoP (sul piano sagittale) nei soggetti con LBP era significativamente aumentato (679 ± 45 vs 513 ± 26 ms [$p<0,001$]), così come il numero di aggiustamenti necessari ($5,4\pm0,7$ vs $3,8\pm0,2$ [$p=0,01$]), senza interazione con le condizioni visive o di stabilità della base d'appoggio.

Controllo posturale in stazione eretta, in seguito a perturbazioni della base d'appoggio

della Volpe R et al. (2006) ^[46] hanno proposto, a 12 soggetti con LBP cronico (> 6 mesi) e 12 soggetti di controllo, una valutazione del controllo posturale tramite un sistema che differenziasse i contributi delle afferenze visive, vestibolari e propriocettive: l'apparato sperimentale consisteva in una piattaforma Equitest, che include una force platform e un feedback visivo mobili. Le prove (20 s ciascuna) consi-

stevano in tre diverse condizioni di visione (occhi aperti, occhi chiusi, feedback visivo proporzionale alle oscillazioni del soggetto sul piano sagittale), ripetute in quiete standing e successivamente con perturbazione della piattaforma (rotazioni del piano d'appoggio corrispondenti alle oscillazioni del soggetto sul piano sagittale). I soggetti con LBP, nelle prove con perturbazione della piattaforma, mostravano significativi incrementi sul piano sagittale nelle oscillazioni del CoP (media quadratica $0,34 \pm 0,03$ vs $0,27 \pm 0,02$ mm) e nella velocità di oscillazione ($23,7 \pm 2,0$ vs $18,5 \pm 1,3$ mm/s) [$p < 0,0001$]; non differenti i valori del CoP sul piano frontale.

Henry SM et al. (2006) ^[47] hanno valutato il controllo posturale di 26 soggetti con LBP cronica ricorrente (> 6 mesi) e 24 soggetti di controllo, durante standing su una piattaforma mobile che subiva perturbazioni, in ordine casuale, in dodici diverse direzioni (ogni 30° , 3 prove/direzione): due force platform sono servite a determinare i parametri del CoP; un sistema di motion tracking (markers riflettenti più videocamere) sono stati utilizzati per ottenere i dati antropometrici utili al calcolo del CoM.

Nei soggetti con LBP, la latenza media nell'inizio delle perturbazioni del CoP era ritardata [$p < 0,01$], sia sul piano sagittale (C.I. 95% $84,3-95,8$ ms vs $66,6-78,5$ ms) sia sul piano frontale (C.I. 95% $92,7-103,2$ ms vs $79,7-90,6$ ms); l'ampiezza media delle oscillazioni iniziali era minore sul piano sagittale [$p < 0,01$] (valori normalizzati C.I. 95% $0,27-0,28$ vs $0,29-0,31$).

In merito al CoM, nei soggetti con LBP la latenza media nell'inizio delle perturbazioni del CoM era ritardata [$p = 0,04$] sul piano sagittale (C.I. 95% $95,7-110,4$ ms vs $87,4-98,8$ ms); l'ampiezza media delle oscillazioni iniziali era maggiore sul piano sagittale [$p = 0,03$] (valori assoluti C.I. 95% $5,8-6,3$ cm vs $5,5-5,9$ cm).

Popa T et al. (2007) ^[48] hanno indagato la reazione posturale di 13 soggetti con LBP cronico (> 6 mesi) e 13 soggetti di controllo, tramite piattaforma Equitest, in quiete standing (con e senza afferenza visiva, 3 prove per 20 s) e in anticipo (500 ms) rispetto a una perturbazione della base d'appoggio (4 prove).

In quiete standing, non significative differenze nei parametri del CoP tra i due gruppi; l'ampiezza delle oscillazioni all'interno di un'area predeterminata (2,5 mm) aumentava alla rimozione del feedback visivo, maggiormente nei soggetti con LBP ($0,104$ cm vs $0,05$ cm) [$p < 0,01$].

In attesa delle perturbazioni del supporto, le oscillazioni del CoP aumentavano nel confronto tra le diverse prove per entrambi i gruppi, ma senza differenza significativa.

Leitner C et al. (2009) ^[49] hanno valutato il controllo posturale di 32 soggetti con LBP cronico (> 3 mesi) e 19 soggetti di controllo, attraverso piattaforma Equitest, in un insieme di tre prove: sensory organization test SOT, sei condizioni differenti per afferenze visive e propriocettive (vedi della Volpe R et al. ^[46], più superficie d'appoggio instabile con e senza afferenza visiva); adaptation test ADT, due perturbazioni rotatorie della base d'appoggio (lungo un asse frontale: toes-up e toes-down); motor control test MCT, la latenza tra l'inizio di una perturbazione della base d'appoggio (traslazione sul piano sagittale) e l'inizio di una forza di reazione ad uno degli arti inferiori.

Nei soggetti con LBP, i punteggi al SOT erano peggiori rispetto ai controlli, nelle condizioni di perturbazioni della base d'appoggio secondo le oscillazioni del soggetto [$p=0,001$], anche senza feedback visivo [$p=0,003$], e in unstable standing senza afferenza visiva [$p=0,046$].

Non significative le differenze nei parametri degli altri due test.

Controllo posturale in stazione eretta, in combinazione con task cognitivo

Salavati M et al. (2009) ^[50] hanno valutato, tramite force platform, l'interazione tra compito di balance (stazione eretta su supporto stabile o instabile, con o senza afferenza visiva) e compito cognitivo (conta decrescente di una stringa di numeri), in 22 soggetti con LBP (> 12 mesi) e 22 soggetti di controllo.

I due gruppi mostravano differenze significative nei parametri delle oscillazioni del CoP (velocità media [$p=0,01$], ampiezza [$p=0,01$], deviazione standard velocità di oscillazione sul piano sagittale [$p=0,04$] e sul piano frontale [$p<0,01$]); la crescente difficoltà posturale o cognitiva, producevano anch'esse cambiamenti significativi nei parametri del CoP.

L'interazione, però, di LBP e task posturale e/o cognitivo, non era significativa per alcuno dei parametri indicati.

Il medesimo esperimento è stato ripetuto da Mazaheri M et al. (2010) ^[51], analizzando l'interazione tra controllo posturale e compito cognitivo secondo recurrence quantification analysis (RQA) ^[52], ossia una rappresentazione multidimensionale delle modifiche al CoP (valutata secondo parametri di ricorrenza, determinismo, entropia e trend) sensibile in contesti dual task.

In questo caso, i due gruppi non mostravano differenze significative nei parametri RQA, mentre questi cambiavano significativamente con la diversa difficoltà dei compiti posturali o cognitivi (in tutti i parametri, e su entrambi i piani sagittale e frontale).

L'interazione tra LBP e difficoltà del compito cognitivo era significativa per ricorrenza, determinismo e trend sul piano sagittale [$p=0,04$]; non significative le interazioni tra LBP e difficoltà del compito posturale, o tra LBP, difficoltà posturale e difficoltà cognitiva.

Sherafat S et al. (2014) ⁵³ hanno combinato un compito posturale (attraverso una piattaforma mobile in tre livelli di difficoltà: facile, livello 5 ad occhi aperti; medio, livello 5 ad occhi chiusi; difficile, livello 3 ad occhi chiusi) ed un compito cognitivo (Stroop test: riconoscimento di un tono alto/basso dall'ascolto della parola "alto" o "basso", rispondendo l'inverso), a 15 soggetti con LBP cronica (> 12 mesi) e 15 soggetti di controllo.

L'interazione tra LBP, difficoltà del compito di balance e difficoltà del compito cognitivo era significativa negli indici di stabilità anteroposteriore (APSI [$p=0,013$]), mediolaterale (MLSI [$p<0,001$]) e globale (OSI [$p<0,001$]): l'interazione del task cognitivo con il controllo posturale nei soggetti con LBP era significativa al livello medio di difficoltà di balance (livello 5 ad occhi chiusi) in tutti i tre indici {figura 10 e figura 11}.

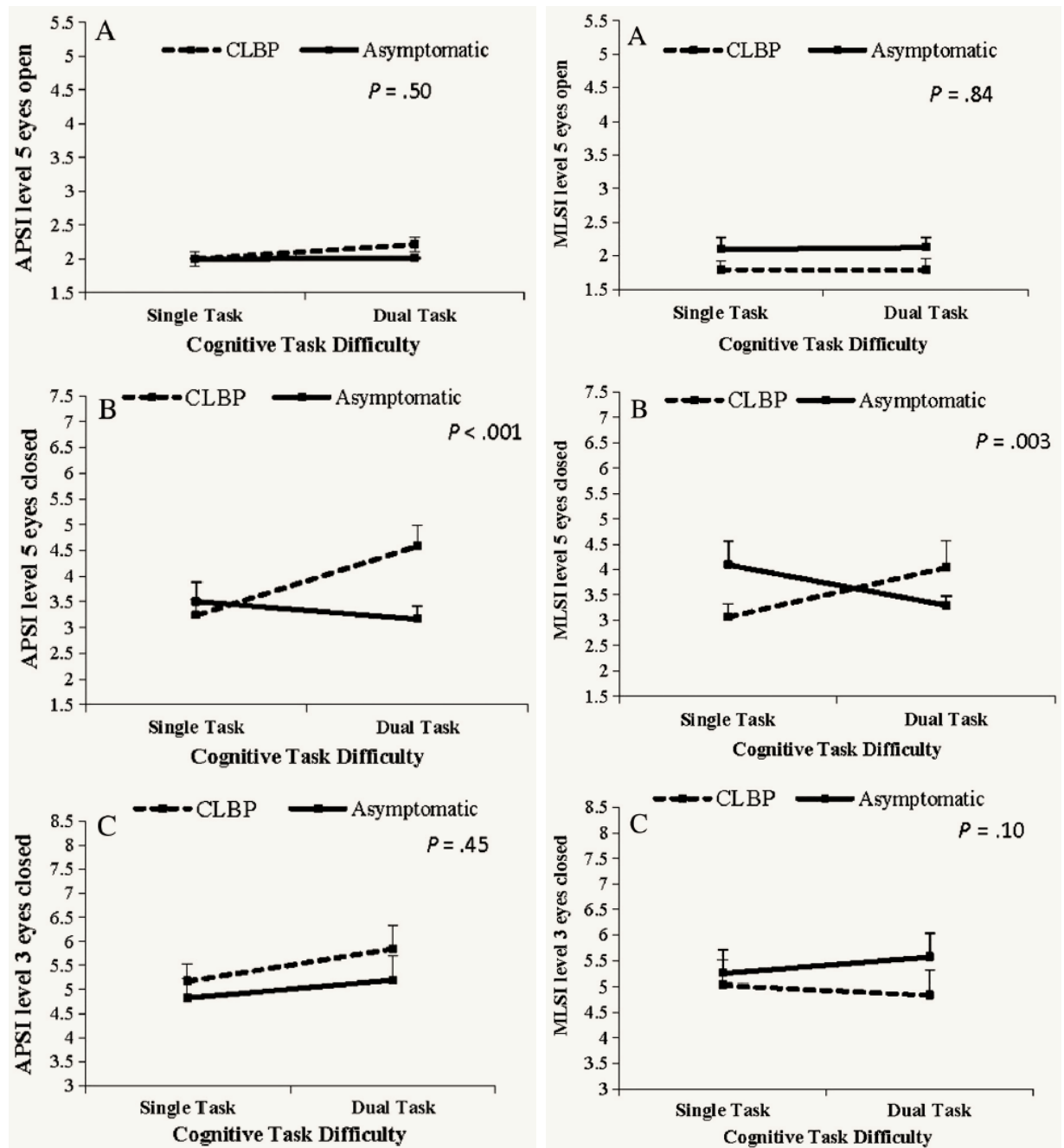


figura 10: Sherafat S et al. (2014) _ APSI e MLSI in funzione del task cognitivo, nei diversi livelli di difficoltà del task motorio

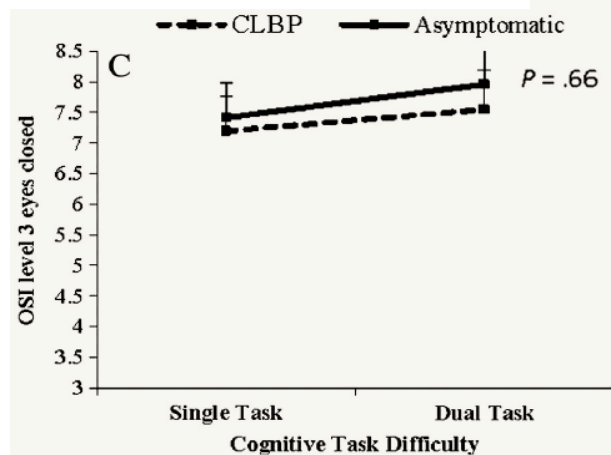
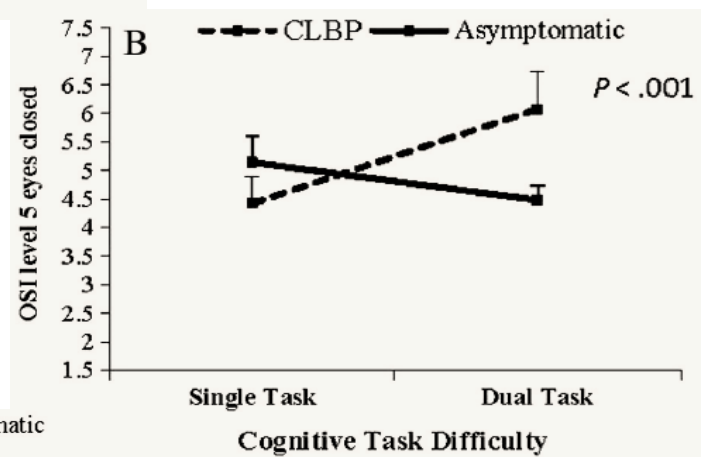
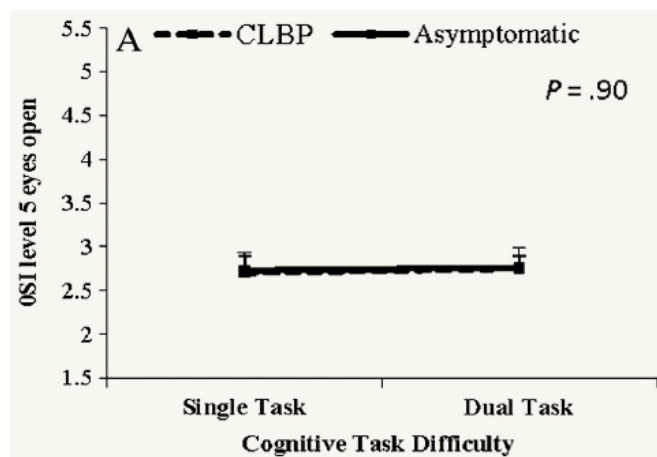


figura 11:

Sherafat S et al. (2014) _ OSI in funzione del task cognitivo, nei diversi livelli di difficoltà del task motorio

Attività muscolare anticipatoria, in seguito a perturbazione interna

Hodges PW e Richardson CA (1996) ^[54] hanno analizzato l'attività muscolare anticipatoria controlaterale di m. transversus abdominis, m. internal oblique, m. external oblique, rectus abdominis, m. multifido (entro 50 ms dall'onset del prime mover m. deltoide) in seguito a movimento dell'arto superiore destro, in 15 soggetti con LBP (> 18 mesi) e 15 soggetti di controllo: tramite EMG ad ago e di superficie, sono stati valutati i movimenti di flessione 60°, abduzione 60° o estensione 40°, in 10 prove per direzione, il più rapidamente possibile in risposta ad uno stimolo visivo. Nei soggetti con LBP (rispetto ai controlli), in flessione nessuno dei muscoli testati (vs TrA nei controlli) era attivo prima del prime mover (m. deltoide anteriore): solo MF aveva attività anticipatoria (vs controlli in TrA, IO, MF); nessuna differenza negli altri muscoli. {figura 12}

In abduzione, nessuno dei muscoli testati (vs TrA e IO nei controlli) era attivo prima del prime mover (m. deltoide medio), ma tutti (non differenze tra i diversi muscoli) erano attivi nella finestra anticipatoria (vs MF nei controlli senza attività anticipatoria). {figura 12}

In estensione, il tempo di reazione del prime mover (m. deltoide posteriore) era significativamente ritardato (212 ± 57 vs 171 ± 34 [$p < 0,02$]), e nessun muscolo era attivo prima di tale soglia (vs TrA e RA nei controlli); IO, EO e RA erano attivi nella finestra anticipatoria (vs TrA, IO, EO e RA) {figura 12}.

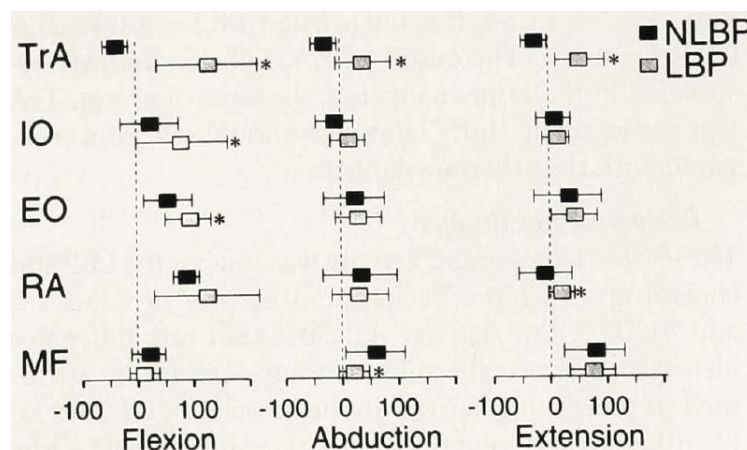


figura 12: Hodges PW e Richardson CA (1996) _ onset dei diversi muscoli, durante i tre movimenti dell'arto superiore [* $p < 0,01$]

Hodges PW e Richardson CA (1999) ^[55] ripetono il medesimo esperimento, con 14 soggetti con LBP (> 18 mesi) e 14 soggetti di controllo, limitando la valutazione al

movimento di flessione, ma differenziandone la velocità di esecuzione (veloce, il più rapidamente possibile; intermedia, a velocità di comfort per il soggetto; lenta, completando il movimento in circa 2 s).

I tempi di reazione e le latenze muscolari decrescevano, per entrambi i gruppi, al crescere delle velocità di movimento dell'arto superiore.

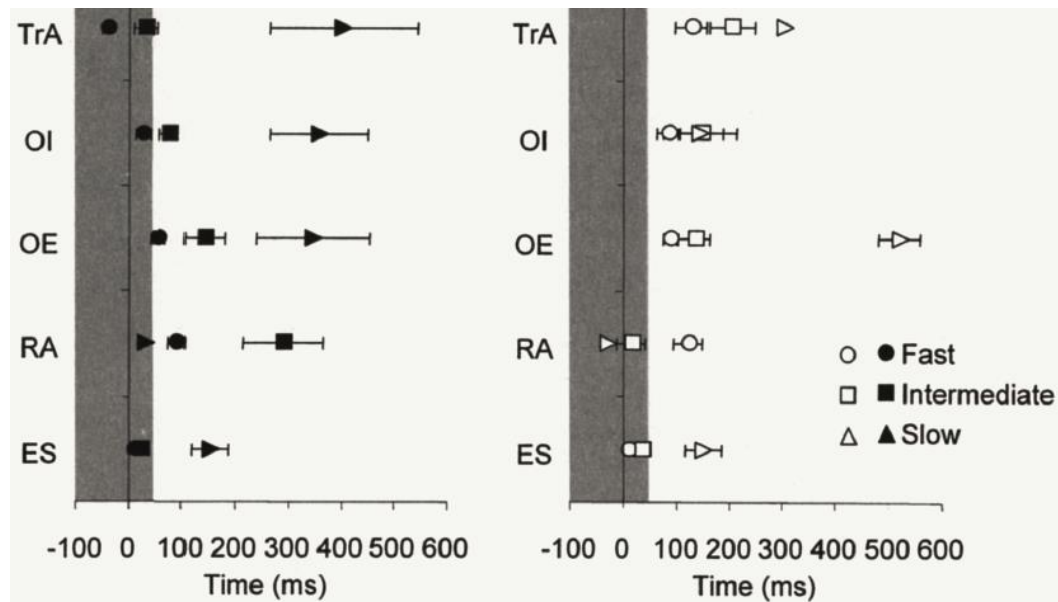


figura 13: Hodges PW e Richardson CA (1999) _ onset dei diversi muscoli (nell'area in grigio, la finestra anticipatoria) [parte sinistra: controlli; parte destra

Nei soggetti con LBP {figura 13}, l'attività anticipatoria (qui limitata alla finestra da 100 ms prima, a 50 ms dopo l'onset del prime mover) era presente solo in m. erector spinae (valutato in vece di MF), nelle velocità intermedia (vs TrA e ES nei controlli) e veloce (vs TrA, ES e IO nei controlli); non presente, così come nei controlli, attività anticipatoria nei movimenti a velocità lenta.

Ancora Hodges PW (2001) ^[56] indaga se il cambiamento nell'attività di TrA sia dovuto a impairment nella trasmissione discendente del comando motorio, in tal caso si osserverebbe ritardo in tempi di reazione comunque non differenti nelle prove a diversa complessità; oppure, dovuto a modifiche nel motor planning corticale, in tal caso si osserverebbero ritardi e difformità nei tempi di reazione di prove a diversa complessità. 14 soggetti con LBP (> 18 mesi) più 14 soggetti di controllo sono stati valutati (tramite EMG) durante movimento dell'arto superiore destro (flessione o abduzione), in risposta ad uno stimolo visivo che ne indicava la direzione, preparato da un feedback (corretto, incorretto o neutro) sulla probabilità della direzione indicata.

Per entrambi i gruppi, i tempi di reazione del prime mover aumentavano con la diminuzione del livello di preparazione.

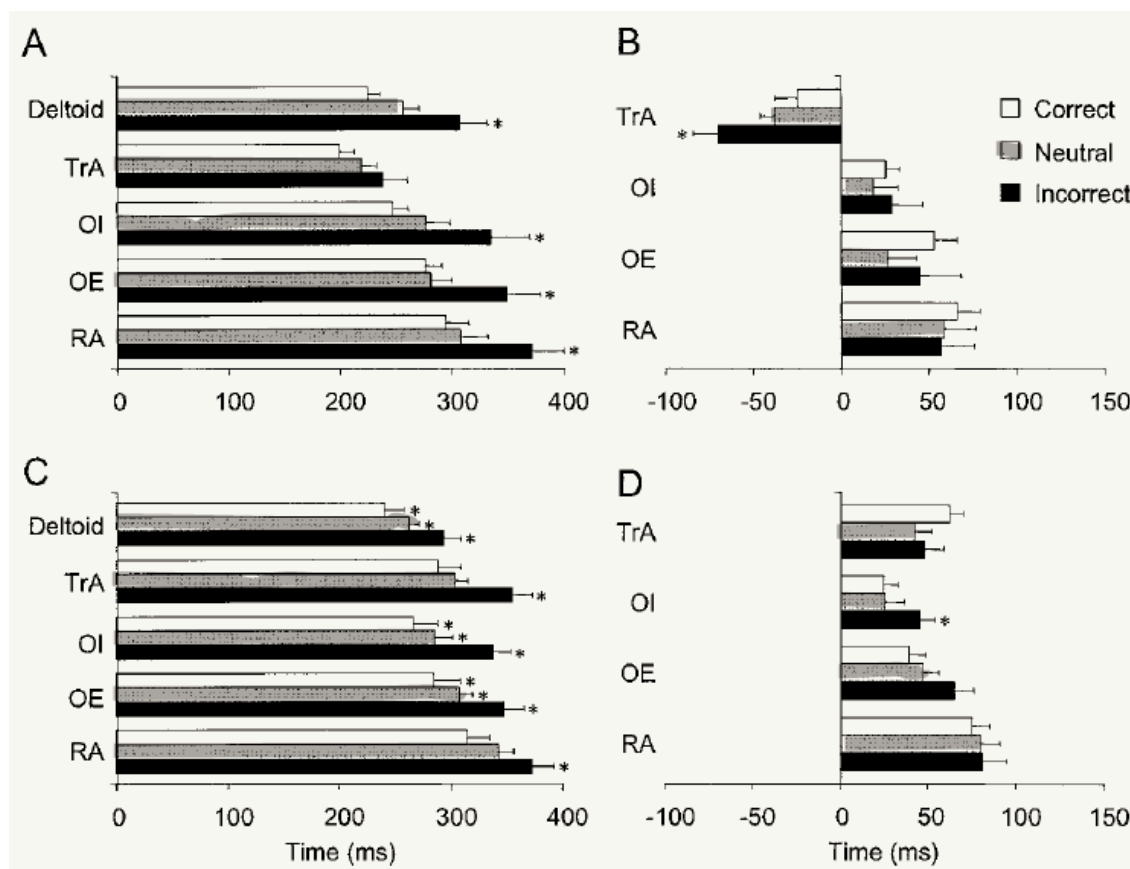


figura 14: Hodges PW (2001) _ tempi di reazione (A: controlli e C: LBP), e latenze rispetto al prime mover (B: controlli e D: LBP) [$*p < 0,05$]

Nei soggetti con LBP, i tempi di reazione di TrA aumentavano nelle prove a incorretta preparazione (vs non influenza nei controlli); le latenze di TrA, rispetto all'onset del prime mover, rimanevano costanti nelle diverse preparazioni (vs aumentati nei controlli, nelle prove a incorretta preparazione), senza attività anticipatoria in alcuna condizione {figura 14}.

I tempi di reazione di RA, IO e EO aumentavano con il diminuire del livello di preparazione (così come nei controlli); le loro latenze rimanevano costanti (così come nei controlli), ad eccezione di IO a breve latenza nelle prove a preparazione neutra {figura 14}.

Tsao H et al. (2008) ^[57] hanno ricercato, in 11 soggetti con LBP (> 3 mesi) e 11 soggetti di controllo, eventuali segni di riorganizzazione dei network corticali, propri dell'attivazione di TrA (in seguito a stimolazione magnetica transcranica TMS), per correlarli all'attività del muscolo durante i movimenti dell'arto superiore.

TSM è stata utilizzata per indurre potenziali motori evocati muscolari (MEP) in TrA, l'ampiezza del segnale EMG evocato è servita a costruire una mappa topografica corticale collegata all'attività di TrA, da cui sono stati estrapolati: un parametro volumetrico ("map volume"), misura dell'eccitabilità corticale; un parametro posizionale (CoG), misura della rappresentazione corticale motoria. L'attività di TrA durante il task motorio (flessione o estensione dell'arto superiore sinistro, in soggetti destrimani, rapidamente in risposta ad un segnale uditivo) è stata valutata con EMG.

TrA "map volume" era maggiore nei soggetti con LBP [$p < 0,001$], correlata alla più lenta attivazione del muscolo durante il movimento dell'arto superiore ($r > 0,57$ [$p < 0,001$]); TrA CoG era localizzato più posteriormente e lateralmente rispetto ai controlli [$p < 0,011$], correlato all'onset ritardato di TrA ($r > 0,37$ [$p < 0,033$]).

MacDonald D et al. (2009) ^[58] hanno analizzato l'attivazione differenziale di fibre corte e profonde, e fibre lunghe e superficiali di MF, durante movimento dell'arto superiore (in flessione o estensione), in 15 soggetti con LBP ricorrente (> 3 mesi, in fase libera da dolore) e 19 soggetti di controllo, tramite EMG.

Nei soggetti con LBP, l'onset delle fibre corte e lunghe era il medesimo (vs anticipato per le fibre corte nei controlli [$p = 0,022$]); l'onset delle fibre corte era ritardato nei soggetti con LBP, sia in flessione sia in estensione rispetto ai controlli [$p = 0,0005$], mentre non vi era differenza per le fibre lunghe. {figura 16}

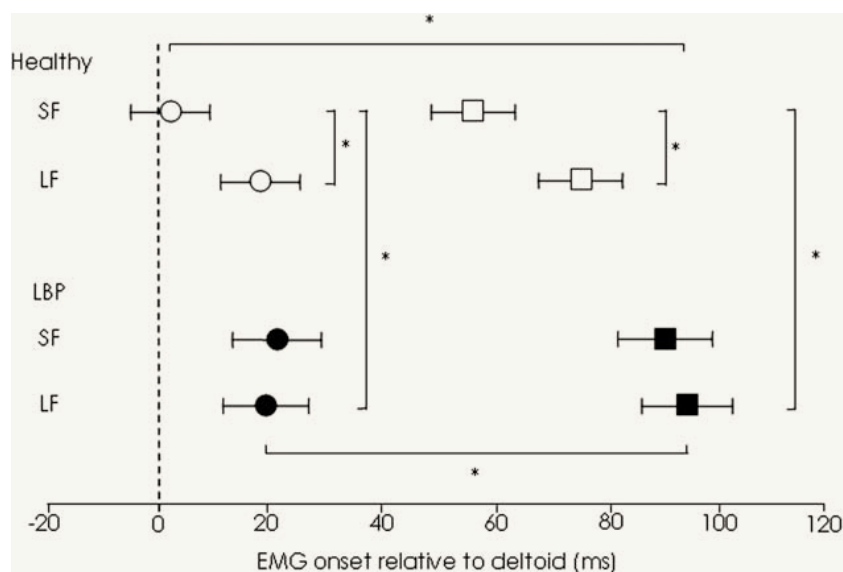


figura 15: MacDonald D et al. (2009) _ latenza media delle fibre corte SF e lunghe LF rispetto al prime mover [$*p < 0,05$] [cerchi: flessione; quadri: estensione]

Nei soggetti con LBP, per il lato non doloroso l'onset delle fibre corte era anticipato sulle lunghe (come per i controlli [$p=0,04$]), mentre per il lato precedentemente affetto la differenza non era rilevante. {figura 16}

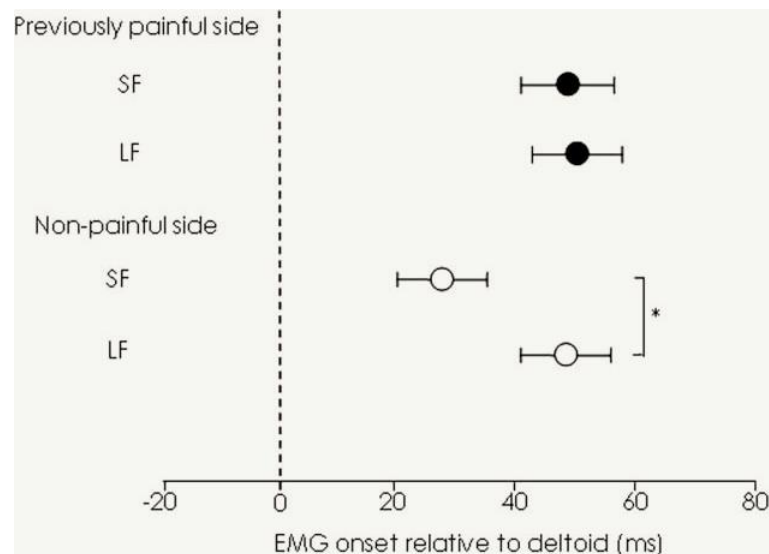


figura 16: MacDonald D et al. (2009) _ comparazione tra lato doloroso e lato non doloroso [$*p<0,05$]

Jacobs JV et al. (2010) ^[59] hanno indagato la correlazione tra segnali elettroencefalografici corticali di preparazione al movimento (potenziali pre-motori Bereitschaftspotential BP), e misure di attivazione corticale (alpha event-related desynchronization ERD), con l'attività anticipatoria dei muscoli del tronco (IO e ES) durante il movimento dell'arto superiore, in 10 soggetti con LBP (> 12 mesi) e 10 soggetti di controllo.

I potenziali pre-motori BP, pur senza differenze significative tra i gruppi, erano tanto minori quanto più ritardate le latenze dell'attività anticipatoria (correlazione significativa per ES controlaterale [$p<0,05$]); la distribuzione topografica centrale e parietale dei segnali significativi di alphaERD era differente tra i due gruppi.

Massé-Alarie H et al. (2012) ^[60] hanno cercato anch'essi una correlazione tra modifiche nella corteccia motoria primaria M1 e alterazioni nell'attività anticipatoria di TrA (da 200 ms prima a 50 ms dopo l'attivazione del prime mover), attraverso l'uso di TSM, in 13 soggetti con LBP (> 1 anno) e 9 soggetti di controllo.

Tramite TSM, è stato individuato l'emisfero più responsivo alla stimolazione, nel produrre MEP alla massima ampiezza con la minima soglia di attivazione; da tale sito di stimolazione, sono stati determinati: una soglia motoria attiva (AMT), in grado di elicitare MEP in TrA ipsilaterale e controlaterale; un intervallo d'inibizione in-

tra-corticale (SICI), misura di inibizione ad origine corticale dell'attivazione premotoria.

EMG di superficie in TrA/IO, EO e prime mover m. deltoide anteriore è stata registrata durante flessioni dell'arto superiore (controlaterale al TrA/IO più responsivo alla TSM).

Nei soggetti con LBP, l'onset di ipsiTrA/IO era ritardato (77 ± 36 vs 41 ± 29 ms post prime mover [$p=0,008$]) e non anticipatorio, la differenza tra i due gruppi significativa rispetto ad entrambi i lati [$p=0,044$]; la percentuale di prove con attività anticipatoria era $25,4 \pm 19$ % (vs $55,6 \pm 35,8$ % nei controlli [$p=0,017$]), la durata della co-contrazione era minore ($8,1 \pm 48,5$ vs $-41,8 \pm 55,5$ ms, valori positivi indicanti non co-contrazione [$p=0,041$]).

Alla TSM, EMG background medio era differente tra i due lati nei controlli (contrTrA/IO maggiore di ipsiTrA/IO) ma non nei soggetti con LBP [$p=0,037$]; l'ampiezza MEP era maggiore per contrTrA/IO rispetto a ipsiTrA/IO nei controlli [$p=0,0001$] e nei soggetti con LBP [$p=0,04$]; SICI era ridotto (quindi, maggiori ampiezze MEP) nei soggetti con LBP ($109,1 \pm 41,5$ vs $63,7 \pm 38,6$ %MEP), mentre AMT era aumentata (in LBP $52,25 \pm 13,6$ vs nei controlli $43,3 \pm 5,15$ % massima stimolazione di output) e correlata nei controlli con l'onset di TrA/IO (minore AMT quindi maggiore eccitabilità M1, maggiore sincronizzazione TrA/IO).

Hedayati R et al. (2014) ^[61] hanno valutato, in 21 soggetti con LBP e 21 soggetti di controllo, se l'attività anticipatoria di TrA/IO, ES e EO, tra diverse prove di movimento dell'arto superiore, fosse presente in entrambi i gruppi: nei soggetti con LBP, il timing anticipatorio di TrA/IO era meno variabile rispetto ai controlli [$p=0,047$], mentre non vi erano differenze per ES o EO.

Massé-Alarie H et al. (2015) ^[62] sottopongono 12 soggetti con LBP (> 3 mesi) e 13 soggetti di controllo, a prove di movimento degli arti (flessione bilaterale degli arti superiori, più prone hip extension per l'arto inferiore), indagando tramite EMG di superficie le eventuali differenze nell'attività anticipatoria di TrA/IO rispetto ai prime mover (m. deltoide anteriore e m. semitendinosus): non differenze significative tra i due gruppi nell'attività anticipatoria di TrA/IO rispetto a m. deltoide (onset anticipatorio bilaterale, co-attivazione in circa la metà delle prove, non differenza tra lato sintomatico e non sintomatico), né rispetto a m. semitendinosus (onset anticipatorio controlaterale).

Suehiro T et al. (2015) ^[63] ripropone, a 20 soggetti con LBP (> 3 mesi) e 20 soggetti di controllo, una valutazione dell'attività anticipatoria durante prone hip extension, misurando bilateralmente con EMG di superficie l'attività di ES e MF (più m. semitendinosus come prime mover, e m. gluteus maximus come agonista): l'onset di MF bilateralmente [$p<0,001$] e contrES [$p=0,001$] erano ritardati nei soggetti con LBP. {figura 17}

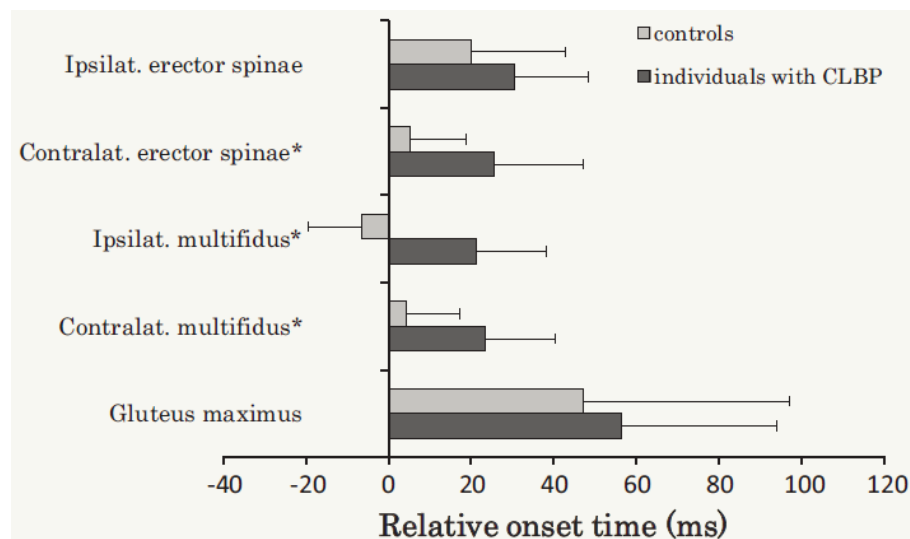


figura 17: Suehiro T et al. (2015) _ onset dei diversi muscoli rispetto al prime mover (a 0 ms) [$*p<0,05$]

Attività muscolare anticipatoria, in seguito a perturbazione esterna

Radebold A et al. (2000) ^[64] hanno sottoposto 17 soggetti con LBP (> 6 mesi) e 17 soggetti di controllo a perturbazioni applicate al tronco, in posizione semi-seduta vincolata agli arti inferiori: durante l'esecuzione di movimenti di flessione-estensione o side-bending al 20-30% della massima forza isometrica, la resistenza fornita al tronco veniva repentinamente rilasciata. [significatività $p<0,01$]

Nei soggetti con LBP, i muscoli agonisti (al movimento eseguito prima del rilascio della resistenza) tendevano a rimanere attivi, generando pattern di co-contrazione (ad esempio, in estensione il numero di agonisti inattivatisi in seguito alla perturbazione era $4,7\pm1,1$ vs $5,1\pm1,1$ mentre il numero di antagonisti attivatisi era $5,4\pm1,1$ vs $5,8\pm0,5$ [$p<0,01$]); i tempi di latenza erano aumentati nei soggetti con LBP (ad esempio, in flessione offset agonisti 92 ± 70 vs 60 ± 29 ms, onset antagonisti 85 ± 25 vs 69 ± 8 ms).

Newcomer KL et al. (2002) ^[65] hanno analizzato, tramite EMG di superficie, l'attivazione muscolare in risposta a perturbazioni del supporto (EquiTest) in stazione eretta, in 20 soggetti con LBP (> 6 mesi) e 20 soggetti di controllo: la percentuale di soggetti con LBP nei quali RA si attivava almeno su un lato in risposta alla perturbazione toes-up era inferiore (15% vs 50% [$p=0,018$]); non differenze significative tra i due gruppi nelle latenze; nella perturbazione media anteriore, i soggetti con LBP attivavano più asimmetricamente ES e RA (odd ratio=4,09 [$p=0,03$]).

Stokes IA et al. (2006) ^[66] hanno confrontato 21 soggetti con LBP e 23 soggetti di controllo (NLBP), in risposta ad una perturbazione (a basso o alto pre-carico) applicata al tronco (in quiet standing con pelvi immobilizzata da vincoli meccanici, e registrazione tramite EMG di superficie): i soggetti con LBP in media preattivavano maggiormente i muscoli dorsali (in proporzione all'effort massimo, 0,22 vs 0,18 [$p<0,01$]), ma senza differenza significativa nella probabilità di risposta muscolare {figura 18}.

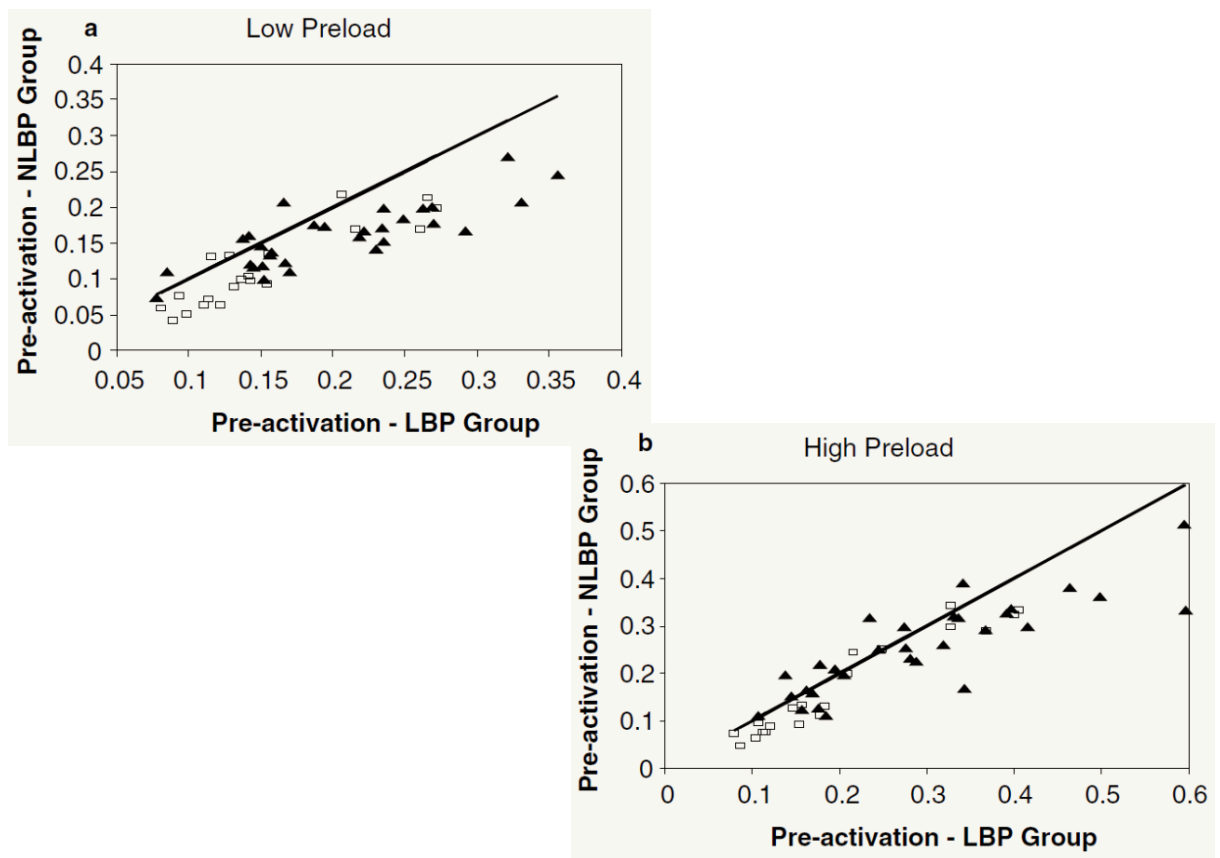


figura 18: Stokes IA et al. (2006) _ preattivazione muscolare
[bianco: muscoli dorsali; nero: muscoli addominali; la linea indica rapporto 1:1]

Leinonen V et al. (2007) ^[67] hanno indagato, in 29 soggetti con LBP (> 6 mesi) e 22 soggetti di controllo, l'attività anticipatoria del m. bicipite brachiale durante il rilascio (atteso o inatteso, a seconda del feedback visivo) di un carico agli arti superiori, in stazione eretta con o senza supporto: in condizione di prevedibilità e senza supporto, l'attività muscolare basale era maggiore nei controlli rispetto ai soggetti con LBP [$p=0,035$]; significativa anche tale interazione nella finestra 100-150 ms dopo la perturbazione [$p=0,010$].

Thomas JS et al. (2007) ^[68] hanno sottoposto 19 soggetti con LBP cronico e 19 soggetti di controllo a reaching task bilaterale, a tre diverse altezze (high, medium, low target) e tre diversi carichi, valutandoli tramite EMG di superficie (e con un sistema di motion tracking per estrapolare il tempo dedicato al task motorio, e la cinematica dei movimenti).

L'escursione dei movimenti non differiva significativamente tra i due gruppi, mentre il tempo di movimento era maggiore nei soggetti con LBP (1421 vs 1203 ms [$p<0,01$]).

Gli onset dei muscoli del tronco erano successivi al prime mover (m. deltoide) in entrambi i gruppi; in entrambi i gruppi, le latenze di MF e ES aumentavano con il decrescere dell'altezza del target, e diminuivano con l'aumentare del carico.

Le latenze di MF (e ES a destra), normalizzate sui tempi di movimento, erano significativamente ritardate nei soggetti con LBP [$p<0,05$], ma senza interazione significativa con l'altezza del task o con il carico sostenuto.

MacDonald D et al. (2010) ^[69], in 13 soggetti con LBP (> 3 mesi) e 14 soggetti di controllo, hanno analizzato l'attività differenziale di fibre lunghe e superficiali SM, e corte e profonde DM, del m. multifido, durante il rilascio di un carico agli arti superiori, con o senza feedback visivo e uditivo.

Per DM, in condizione di prevedibilità, nei soggetti con LBP l'attività era minore sia negli intervalli anticipatori sia successivi al rilascio del carico; in condizioni di non prevedibilità, la differenza tra i due gruppi era significativa solo dopo il rilascio del carico (ridotta attività anticipatoria in entrambi i gruppi); l'attività anticipatoria di DM era maggiore nel lato sintomatico [$p<0,033$] {figura 19}.

Per SM, in condizione di non prevedibilità, l'attività era maggiore dal lato sintomatico [$p=0,029$], e anticipata rispetto al lato non sintomatico [$p<0,002$] o ai controlli [$p=0,009$] {figura 19}.

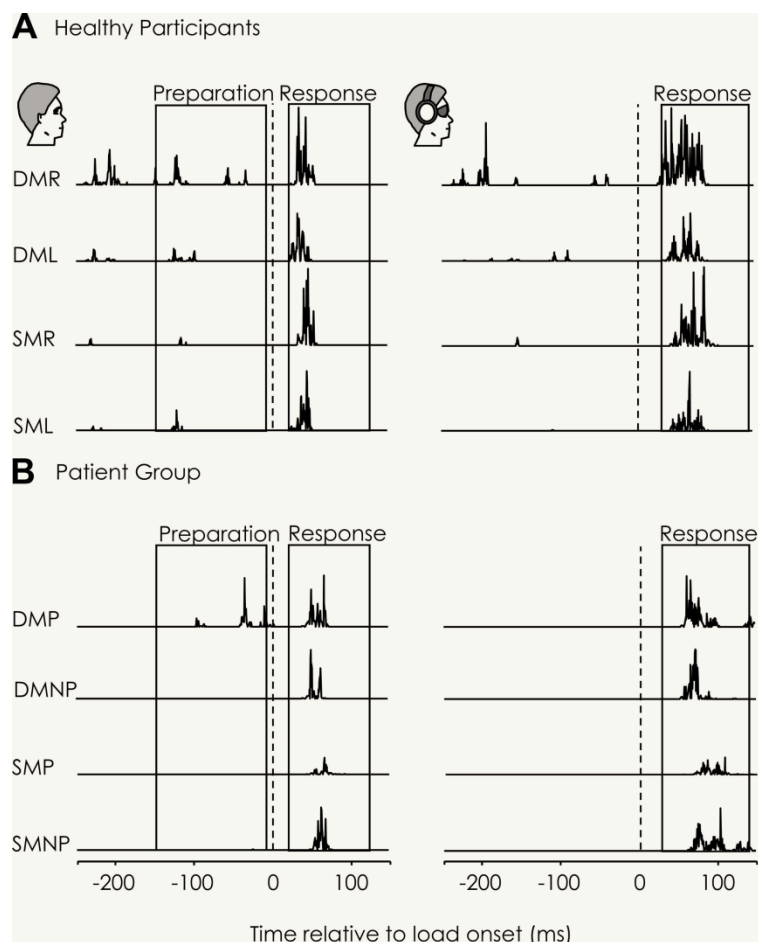


figura 19: MacDonald D et al. (2010) _ attività DM e SM, dal lato sintomatico (P) e non sintomatico (NP), nei carichi attesi (a sn) e inattesi (a dx)

Jacobs JV et al. (2011) ^[70] hanno esaminato 24 soggetti con LBP (numeric rating pain scale NPRS range 0 – 4) e 21 soggetti di controllo, durante perturbazioni randomizzate della base d'appoggio (radiali, ogni 30°), valutando con EMG l'attività muscolare del tronco e degli arti inferiori sia precedente (baseline -75 – 0 ms) sia successiva (precoce 25 – 175 ms, tardiva 175 – 325 ms) alla perturbazione.

Nei soggetti con LBP, l'incidenza della risposta muscolare precoce è inferiore per IO e TS (m. gemello mediale) nelle perturbazioni con componenti posteriori [$p < 0,004$], l'incidenza della risposta muscolare tardiva è inferiore per tutti i muscoli registrati (eccetto TS e RA destro) in tutte le direzioni [$p < 0,004$]. Nei soggetti con LBP, l'ampiezza del segnale EMG è maggiore al baseline per ES (a sinistra) nelle direzioni di perturbazione laterali e anteriori [$p < 0,004$], e in fase di risposta tardiva per TS nelle direzioni controlaterali posteriori [$p < 0,004$].

Jones SL et al. (2012a) ^[71] hanno ripetuto l'esperimento ^[70] con 20 soggetti con LBP (> 12 mesi, NPRS 2,00±1,37) e 21 soggetti di controllo (NLBP), analizzando l'attività muscolare precedente (baseline -250 – -50 ms) e successiva (precoce 100 – 175 ms, tardiva 175 – 250 ms) alla perturbazione, e il movimento del tronco e degli arti inferiori (tramite motion tracking system).

La cinematica del tronco evidenziava riduzione nei soggetti con LBP solo sul piano frontale, per perturbazioni in tutte le direzioni [$p=0,03$].

Nei soggetti con LBP, l'attività muscolare di base era maggiore, in proporzione ai valori massimi, rispetto ai controlli, sia per il tronco sia per gli arti inferiori [$p<0,01$]. In fase precoce, l'attività era maggiore, in proporzione ai valori massimi, sia per il tronco sia per gli arti inferiori (ad eccezione di IO), con TA e TS attivi per perturbazioni nelle direzioni a loro antagoniste {figura 21}. In fase tardiva, l'attività di ES, EO, leftIO e leftRA era maggiore, in proporzione ai valori massimi, rispetto ai controlli {figura 20}.

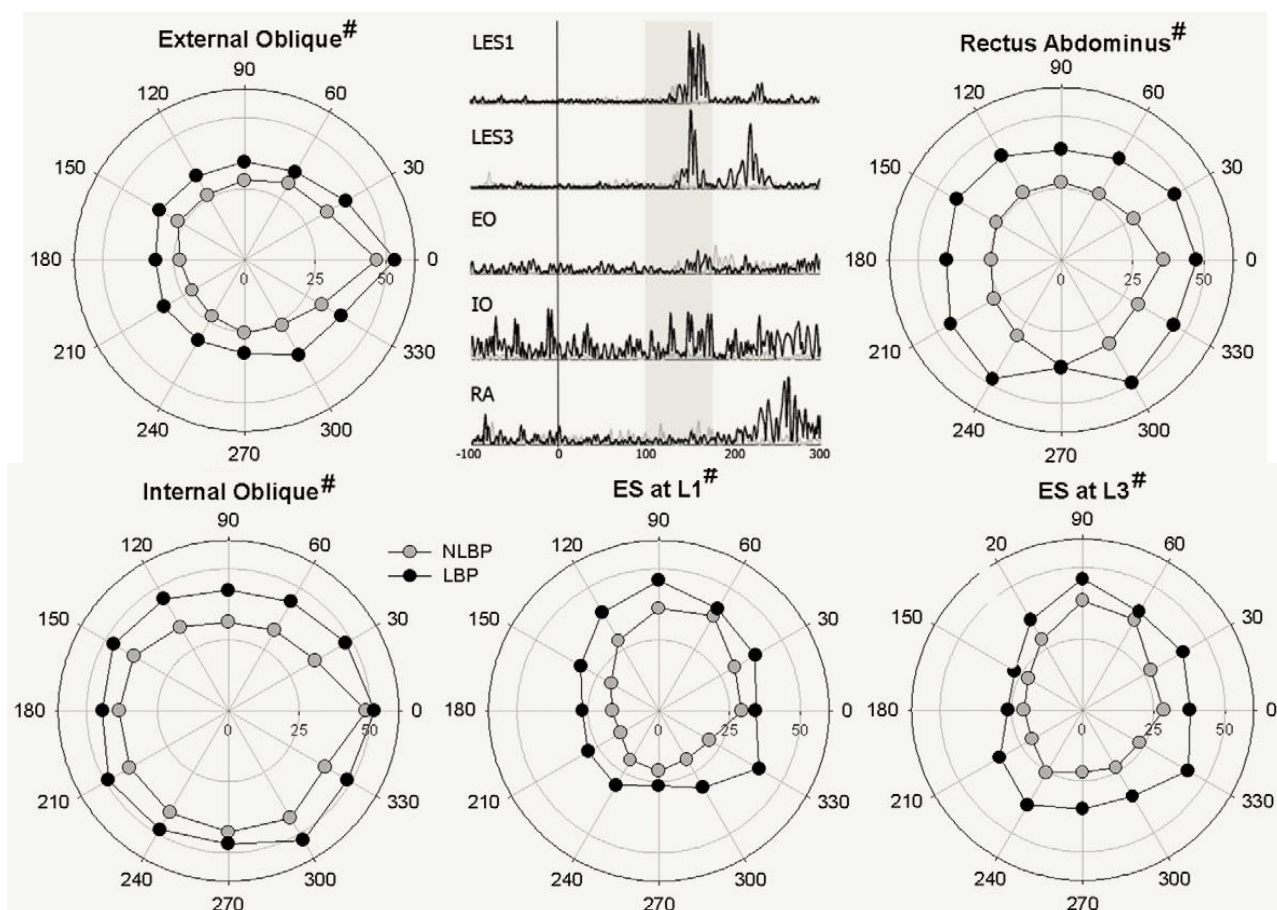


figura 20: Jones SL et al. (2012a) _ attività normalizzata dei muscoli del tronco, nella fase precoce successiva a perturbazione [# $p<0,05$]

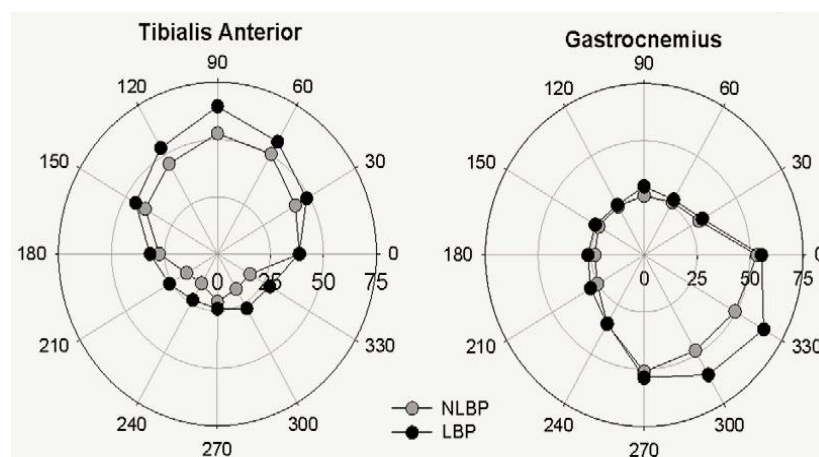


figura 21: Jones SL et al. (2012a) _ attività normalizzata dei muscoli del tronco, nella fase precoce successiva a perturbazione [$p < 0,05$]

Il gruppo di Jones SL et al. (2012b) ^[72] ha rivisto gli esperimenti precedenti ^{[70] [71]}, con 16 soggetti con LBP (ALBP: in fase più sintomatica rispetto agli scorsi studi, NPRS $3,5 \pm 1,9$ [$p = 0,008$]) e 16 soggetti di controllo (NLBP), valutandone la cinematica del movimento di tronco e arti inferiori, e l'attività muscolare precedente (baseline -250 – -50 ms) e successiva (I 25 – 100 ms, II 100 – 175 ms, III 175 – 250 ms).

Nei soggetti con LBP, la latenza nei movimenti dei diversi segmenti era precoce: sul piano sagittale per l'intero arto inferiore, e per il tronco in fase precoce; sul piano frontale per caviglia, e per il tronco nelle perturbazioni in side-bending.

Nei soggetti con LBP, l'attivazione di TA [$p = 0,0002$] e di TS [$p < 0,0001$] era maggiore nelle prime due fasi successive alla perturbazione, in direzioni in cui i muscoli agirebbero come prime mover (rispettivamente, anteriore e posteriore); l'attivazione di TS [$p < 0,0001$] era ridotta in tutte le fasi, in direzione in cui il muscolo agirebbe come antagonista (anteriori). Per i muscoli del tronco, leftIO [$p = 0,0082$] aveva attivazione minore nelle prime due fasi successive a perturbazione (in direzione omolaterale al muscolo), e attivazione maggiore in fase II in direzione controlaterale; per gli altri muscoli, l'attivazione era in generale aumentata post-perturbazione (senza interazione per la direzione), con asimmetrie significative per RA, leftIO e leftEO (interazione con la direzione di perturbazione) {figura 22}.

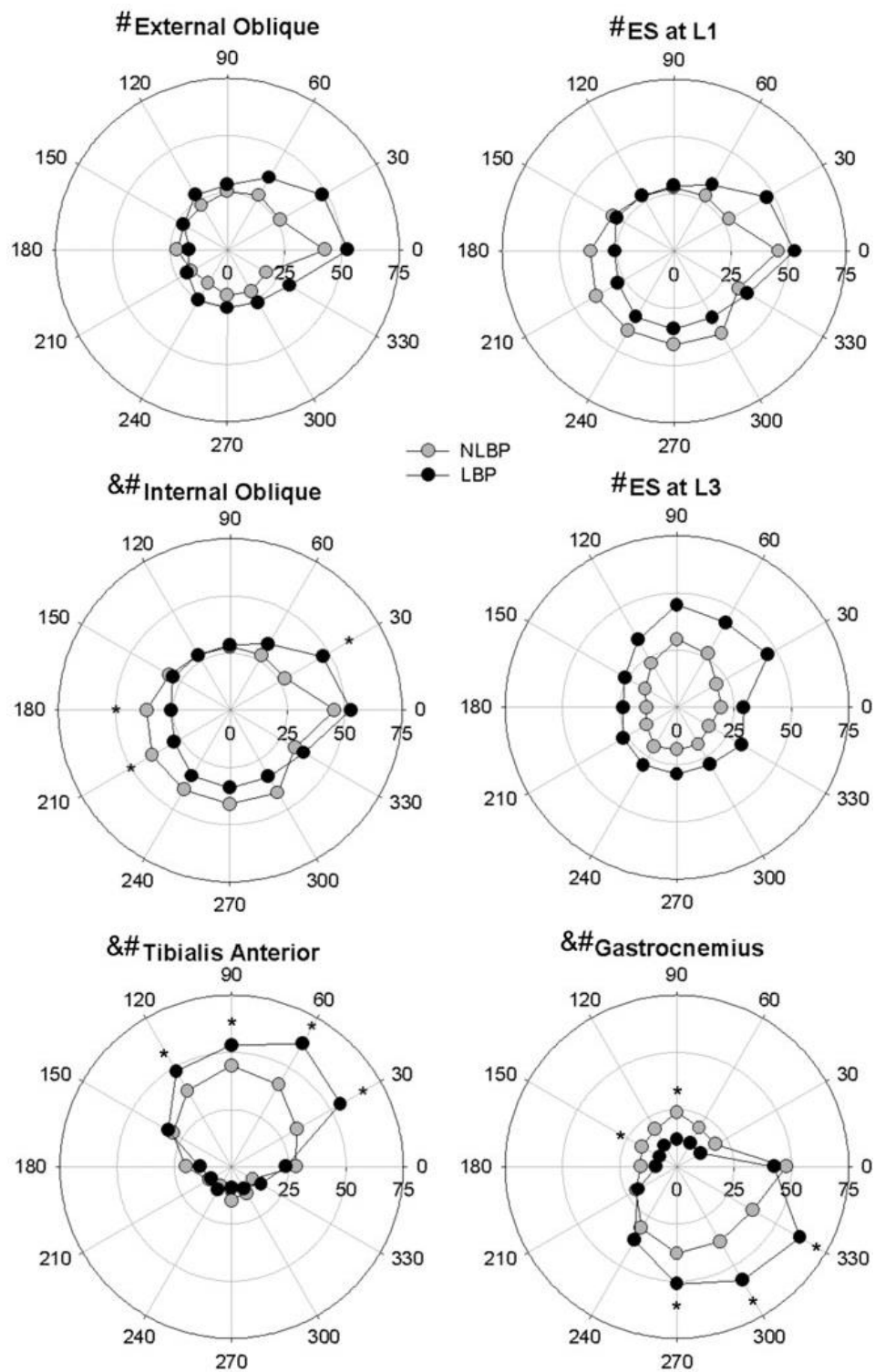


figura 22: Jones SL et al. (2012b) _ attività normalizzata dei muscoli del tronco e degli arti, in fase II successiva a perturbazione
[interazione LBP, fase e direzione $p < 0,05$; interazione LBP e fase $p < 0,05$]
[* direzioni significative]

Discussione

La condizione di LBP aspecifico è soggetta a deficit delle afferenze propriocettive [14–19], e a riduzione delle funzioni cognitive espresse come calo della velocità psicomotoria e della memoria a breve termine [20, 21]. Le afferenze propriocettive e le funzioni cognitive sono due aspetti che concorrono alla funzione di controllo posturale e alle strategie di aggiustamento anticipatorio [1–8].

L'obiettivo di questa revisione è raccogliere le evidenze disponibili in letteratura circa gli studi sul controllo posturale, e sulle strategie motorie di balance, nel low back pain aspecifico.

In posizione seduta, nelle condizioni sperimentali a maggiore instabilità, i soggetti con LBP (sia in fase sub-acuta, sia in fase cronica) dimostrano minore accuratezza nel controllo posturale (specialmente sul piano frontale), con maggiore dipendenza dal feedback visivo [Radebold A et al. (2001)²²; Willigenburg NW et al. (2012)²⁵; Willigenburg NW et al. (2013)²⁶]. Maggiori deviazioni dei distretti toraco-lombare e pelvi [Van Daele U et al. (2009)²³; Willigenburg NW et al. (2013)²⁶], e maggiore momento angolare dell'articolazione coxo-femorale [Freddolini M et al. (2014)²⁷] durante il compito di balance rivelano probabilmente l'inefficacia nelle strategie posturali eseguite.

Anche in condizione di one-leg standing, le performance dei soggetti con LBP sono più scarse: i tempi di mantenimento della posizione e la stabilità sono ridotti, specialmente in condizioni di assenza di afferenza visiva [Sung PS et al. (2010)²⁸; Ham YW et al. (2010)²⁹; Jo HJ et al. (2011)³⁰; Lee DC et al. (2012)³¹; Sung PS et al. (2015)³²]; la condizione di one-leg standing sull'arto inferiore dominante evidenzia le maggiori differenze fra i due gruppi [Jo HJ et al. (2011)³⁰; Lee DC et al. (2012)³¹].

Il tratto lombare, cinematicamente più stabile rispetto ai segmenti toracici, [Ham YW et al. (2010)²⁹; Sung PS et al. (2015)³²] segnala probabilmente l'uso di strategie di co-contrazione atte a mantenere il controllo posturale (cfr. discussione sugli esiti degli studi in merito all'attività muscolare).

Nei task motori in stazione eretta, una perturbazione interna (variazione di afferenze visive o propriocettive, o movimento di un segmento) altera i parametri del CoP, specialmente in mancanza del feedback visivo o con una base di supporto instabile [Alexander KM e LaPier TL (1998)³³; Mientjes MI e Frank JS (1999)³⁴; Lafond D et al. (2009)³⁵; Yahia A et al. (2011)³⁶; Johanson E et al. (2011)³⁷; Caffaro RR et al. (2014)³⁹; Brumagne S et al. (2008a)⁴¹; Brumagne S et al. (2008b)⁴²; Claeys K et al. (2011)⁴⁴; Mok NW et al. (2011b)⁴⁵], con una correlazione negativa tra le performance di equilibrio e la forza e la resistenza dei muscoli estensori del rachide (valori ridotti nei soggetti con LBP) [Yahia A et al. (2011)³⁶; Johanson E et al. (2011)³⁷]; in caso di stazione eretta prolungata nel tempo, le oscillazioni del CoP risultano minori rispetto ai soggetti di controllo [Lafond D et al. (2009)³⁵], probabilmente per il ricorso a pattern di co-contrazione utili al mantenimento della postura (cfr. discussione sugli esiti degli studi in merito all'attività muscolare).

Un movimento preparatorio in estensione del rachide lombare è presente, durante l'elevazione di un arto, anche nei soggetti con LBP (pur in percentuali minori): la mancanza di tale estensione è correlata con un aumento della flessione successiva alla perturbazione [Mok NW et al. (2007)⁴⁰]. In caso di sovraccarico inatteso agli arti superiori, le latenze nei movimenti di reazione sono ritardate, mentre aumentano gli aggiustamenti del CoP [Mok NW et al. (2011a)⁴³].

Quando la stazione eretta subisce una perturbazione della base d'appoggio, l'equilibrio ne risente negativamente per perturbazioni in tutte le direzioni, con più alta dipendenza dall'afferenza visiva [della Volpe R et al. (2006)⁴⁶; Henry SM et al. (2006)⁴⁷; Popa T et al. (2007)⁴⁸; Leitner C et al. (2009)⁴⁹].

In risposta alla perturbazione, CoP e CoM variano soprattutto sul piano sagittale: in misura minore il CoP, probabilmente per ricorso ad una strategia di co-contrazione; in misura maggiore il CoM, probabilmente per inefficacia di tale strategia di stiffening nel mantenimento del balance [Henry SM et al. (2006)⁴⁷] (cfr. discussione sugli esiti degli studi in merito all'attività muscolare).

Alla risonanza magnetica, è stata rilevata la presenza di alterazioni nella sostanza bianca del peduncolo cerebellare superiore, associate ad una strategia posturale di caviglia [Pijnenburg M et al. (2014)³⁸]: tale strategia è preponderante nei soggetti con LBP, verificata nelle prove di alterazione delle afferenze visive e propriocettive, anche nelle condizioni in cui un supporto instabile la renda meno affidabile rispetto a un controllo più prossimale del balance [Johanson E et al. (2011)³⁷; Pijnenburg M et al. (2014)³⁸; Brumagne S et al. (2008a)⁴¹; Brumagne S et al. (2008b)⁴²; Claeys K et al. (2011)⁴⁴].

In genere, la difficoltà del compito cognitivo inferisce sui parametri del CoP, soprattutto sul piano sagittale, ma senza interazione con la condizione di LBP (simili inferenze nei gruppi di controllo) [Van Daele U et al. (2010)²⁴; Salavati M et al. (2009)⁵⁰; Mazaheri M et al. (2010)⁵¹; Sherafat S et al. (2014)⁵³]: nei soggetti con LBP si riscontra ancora maggiore dipendenza dal feedback visivo, e maggiore ricorso a strategie di co-contrazione quando aumenti la difficoltà del compito (cfr. discussione sugli esiti degli studi in merito all'attività muscolare).

L'attività muscolare anticipatoria, in seguito a movimento di un arto superiore (anche a diverse velocità), varia in latenza ed ampiezza nei soggetti con LBP cronico o ricorrente: il muscolo transversus abdominis non presenta attività anticipatoria; altri muscoli testati (m. multifido, mm. internal ed external oblique) manifestano attività anticipatoria anche nei soggetti con LBP, pur con un timing ritardato di attivazione e controllo più grossolano dell'attività muscolare [Hodges PW e Richardson CA (1996)⁵⁴; Hodges PW e Richardson CA (1999)⁵⁵; MacDonald D et al. (2009)⁵⁸; Massé-Alarie H et al. (2012)⁶⁰; Hedayati R et al. (2014)⁶¹]. Non presenti differenze significative tra i due gruppi nelle prove di movimento bilaterali degli arti superiori [Massé-Alarie H et al. (2015)⁶²]

Durante prove di movimento dell'arto inferiore, i soggetti con LBP mostrano attività anticipatoria dei muscoli transversus abdominis/internal oblique paragonabile al gruppo di controllo [Massé-Alarie H et al. (2015)⁶²] rispetto al prime mover, ma perdita di tale timing nell'attività dei muscoli multifido (bilateralmente) ed erector spinae (controlateralmente) [Suehiro T et al. (2015)⁶³].

In merito alle funzioni superiori di programmazione e scelta delle strategie posturali, i risultati di tali prove farebbero propendere per un impairment della programmazione motoria corticale, piuttosto che un disturbo nel comando discendente motorio [Hodges PW (2001)⁵⁶], essendo verificata una riorganizzazione nella corteccia motoria dei network deputati alla programmazione dell'attività del m. transversus abdominis/internal oblique e del m. multifido/erector spinae [Tsao H et al. (2008)⁵⁷; Jacobs JV et al. (2010)⁵⁹; Massé-Alarie H et al. (2012)⁶⁰].

Pure l'attività muscolare durante perturbazione esterna, sia del tronco sia degli arti, varia in condizione di LBP cronico o ricorrente [Radebold A et al. (2001)²²; Freddolini M et al. (2014)²⁷; Radebold A et al. (2000)⁶⁴; Stokes IA et al. (2006)⁶⁶; Leinonen V et al. (2007)⁶⁷; Thomas JS et al. (2007)⁶⁸; MacDonald D et al. (2010)⁶⁹; Jacobs JV et al. (2011)⁷⁰; Newcomer KL et al. (2002)⁶⁵; Jones SL et al. (2012a)⁷¹; Jones SL et al. (2012b)⁷²].

I tempi di reazione sono ridotti, la latenza è maggiore sia nell'onset dei muscoli antagonisti alla perturbazione sia nell'offset dei muscoli agonisti, in genere per tutte le direzioni di perturbazione, su tutti i piani di movimento e indipendentemente dall'entità del carico sostenuto.

La strategia di balance genera un pattern di co-contrazione, spesso asimmetrico, con controllo più grossolano dell'attività muscolare e maggiore risposta dal lato precedentemente o attualmente sintomatico.

Conclusione

Il low back pain (soprattutto in fase cronica o ricorrente) è associato a minore accuratezza del controllo posturale sotto il profilo cinetico e cinematico, riduzione dell'attività muscolare anticipatoria rispetto al movimento di un arto (correlata a modifiche nei network corticali di programmazione motoria), maggiore latenza e asimmetria nella risposta muscolare a perturbazioni esterne.

In condizioni d'instabilità, i soggetti con low back pain dimostrano maggiore dipendenza dal feedback visivo, e frequente ricorso ad una strategia di caviglia per il mantenimento del balance (associata ad alterazioni di alcune connessioni cerebellari), o ad un pattern di co-contrazione quando aumenti la difficoltà del compito di equilibrio o in caso di dual task.

-
1. Mergner T, Rosemeier T. Interaction of vestibular, somatosensory and visual signals for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions--a conceptual model. *Brain Res Brain Res Rev.* 1998 Nov;28(1-2):118-35.
 2. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train.* 2002 Jan;37(1):71-9.
 3. Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol.* 1986 Jun;55(6):1369-81.
 4. Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol.* 1992;38(1):35-56.
 5. Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res.* 1995;103(2):323-32.
 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.
 7. Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res.* 1997 Apr;114(2):362-70.
 8. Loram ID, Lakie M. Human balancing of an inverted pendulum: position control by small, ballistic-like, throw and catch movements. *J Physiol.* 2002 May 1;540(Pt 3):1111-24.
 9. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture.* 2002 Aug;16(1):1-14.
 10. Fraizer EV, Mitra S. Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait Posture.* 2008 Feb;27(2):271-9.
 11. Hoy D, March L, Brooks P, Blyth F, Woolf A, Bain C, Williams G, Smith E, Vos T, Barendregt J, Murray C, Burstein R, Buchbinder R. The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Ann Rheum Dis.* 2014 Jun;73(6):968-74. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204428.
 12. Hoy D, Bain C, Williams G, March L, Brooks P, Blyth F, Woolf A, Vos T, Buchbinder R. A systematic review of the global prevalence of low back pain. *Arthritis Rheum.* 2012 Jun;64(6):2028-37. doi: 10.1002/art.34347.

-
13. Airaksinen O, Brox JI, Cedraschi C, Hildebrandt J, Klaber-Moffett J, Kovacs F, Mannion AF, Reis S, Staal JB, Ursin H, Zanolli G; COST B13 Working Group on Guidelines for Chronic Low Back Pain. Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *Eur Spine J*. 2006 Mar;15 Suppl 2:S192-300.
 14. Gill KP, Callaghan MJ. The measurement of lumbar proprioception in individuals with and without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998 Feb 1;23(3):371-7.
 15. Brumagne S, Cordo P, Lysens R, Verschueren S, Swinnen S. The role of paraspinal muscle spindles in lumbosacral position sense in individuals with and without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000 Apr 15;25(8):989-94.
 16. Taimela S, Kankaanpää M, Luoto S. The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position. A controlled study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999 Jul 1;24(13):1322-7.
 17. Asell M, Sjölander P, Kerschbaumer H, Djupsjöbacka M. Are lumbar repositioning errors larger among patients with chronic low back pain compared with asymptomatic subjects? *Arch Phys Med Rehabil*. 2006 Sep;87(9):1170-6.
 18. Lee AS, Cholewicki J, Reeves NP, Zazulak BT, Mysliwiec LW. Comparison of trunk proprioception between patients with low back pain and healthy controls. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010 Sep;91(9):1327-31. doi: 10.1016/j.apmr.2010.06.004.
 19. Rausch Osthoff AK, Ernst MJ, Rast FM, Mauz D, Graf ES, Kool J, Bauer CM. Measuring lumbar reposition accuracy in patients with unspecific low back pain: systematic review and meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015 Jan 15;40(2):E97-E111. doi: 10.1097/BRS.0000000000000677.
 20. Luoto S, Taimela S, Alaranta H, Hurri H. Psychomotor speed in chronic low-back pain patients and healthy controls: construct validity and clinical significance of the measure. *Percept Mot Skills*. 1998 Dec;87(3 Pt 2):1283-96.
 21. Luoto S, Taimela S, Hurri H, Alaranta H. Mechanisms explaining the association between low back trouble and deficits in information processing. A controlled study with follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999 Feb 1;24(3):255-61.
 22. Radebold A, Cholewicki J, Polzhofer GK, Greene HS. Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001 Apr 1;26(7):724-30.
 23. Van Daele U, Hagman F, Truijzen S, Vorlat P, Van Gheluwe B, Vaes P. Differences in balance strategies between nonspecific chronic low back pain patients and healthy control subjects

-
- during unstable sitting. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 May 15;34(11):1233-8. doi: 10.1097/BRS.0b013e31819ca3ee.
24. Van Daele U, Hagman F, Truijen S, Vorlat P, Van Gheluwe B, Vaes P. Decrease in postural sway and trunk stiffness during cognitive dual-task in nonspecific chronic low back pain patients, performance compared to healthy control subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 Mar 1;35(5):583-9. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b4fe4d.
25. Willigenburg NW, Kingma I, van Dieën JH. Precision control of an upright trunk posture in low back pain patients. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2012 Nov;27(9):866-71. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2012.06.002.
26. Willigenburg NW, Kingma I, van Dieën JH. Center of pressure trajectories, trunk kinematics and trunk muscle activation during unstable sitting in low back pain patients. *Gait Posture*. 2013 Sep;38(4):625-30. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.02.010.
27. Freddolini M, Strike S, Lee RY. The role of trunk muscles in sitting balance control in people with low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2014 Dec;24(6):947-53. doi: 10.1016/j.jelekin.2014.09.009.
28. Sung PS, Yoon B, Lee DC. Lumbar spine stability for subjects with and without low back pain during one-leg standing test. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 Jul 15;35(16):E753-60. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181d53b9c.
29. Ham YW, Kim DM, Baek JY, Lee DC, Sung PS. Kinematic analyses of trunk stability in one leg standing for individuals with recurrent low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010 Dec;20(6):1134-40. doi: 10.1016/j.jelekin.2010.05.011.
30. Jo HJ, Song AY, Lee KJ, Lee DC, Kim YH, Sung PS. A kinematic analysis of relative stability of the lower extremities between subjects with and without chronic low back pain. *Eur Spine J*. 2011 Aug;20(8):1297-303. doi: 10.1007/s00586-010-1686-1.
31. Lee DC, Ham YW, Sung PS. Effect of visual input on normalized standing stability in subjects with recurrent low back pain. *Gait Posture*. 2012 Jul;36(3):580-5. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.05.020.
32. Sung PS, Leininger PM. A kinematic and kinetic analysis of spinal region in subjects with and without recurrent low back pain during one leg standing. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015 Aug;30(7):696-702. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2015.05.003.
33. Alexander KM, LaPier TL. Differences in static balance and weight distribution between normal subjects and subjects with chronic unilateral low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998 Dec;28(6):378-83.

-
34. Mientges MI, Frank JS. Balance in chronic low back pain patients compared to healthy people under various conditions in upright standing. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1999 Dec;14(10):710-6.
 35. Lafond D, Champagne A, Descarreaux M, Dubois JD, Prado JM, Duarte M. Postural control during prolonged standing in persons with chronic low back pain. *Gait Posture*. 2009 Apr;29(3):421-7. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.10.064.
 36. Yahia A, Jribi S, Ghroubi S, Elleuch M, Baklouti S, Habib Elleuch M. Evaluation of the posture and muscular strength of the trunk and inferior members of patients with chronic lumbar pain. *Joint Bone Spine*. 2011 May;78(3):291-7. doi: 10.1016/j.jbspin.2010.09.008.
 37. Johanson E, Brumagne S, Janssens L, Pijnenburg M, Claeys K, Pääsuke M. The effect of acute back muscle fatigue on postural control strategy in people with and without recurrent low back pain. *Eur Spine J*. 2011 Dec;20(12):2152-9. doi: 10.1007/s00586-011-1825-3.
 38. Pijnenburg M, Caeyenberghs K, Janssens L, Goossens N, Swinnen SP, Sunaert S, Brumagne S. Microstructural integrity of the superior cerebellar peduncle is associated with an impaired proprioceptive weighting capacity in individuals with non-specific low back pain. *PLoS One*. 2014 Jun 20;9(6):e100666. doi: 10.1371/journal.pone.0100666.
 39. Caffaro RR, França FJ, Burke TN, Magalhães MO, Ramos LA, Marques AP. Postural control in individuals with and without non-specific chronic low back pain: a preliminary case-control study. *Eur Spine J*. 2014 Apr;23(4):807-13. doi: 10.1007/s00586-014-3243-9.
 40. Mok NW, Brauer SG, Hodges PW. Failure to use movement in postural strategies leads to increased spinal displacement in low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007 Sep 1;32(19):E537-43.
 41. Brumagne S, Janssens L, Knapen S, Claeys K, Suuden-Johanson E. Persons with recurrent low back pain exhibit a rigid postural control strategy. *Eur Spine J*. 2008 Sep;17(9):1177-84. doi: 10.1007/s00586-008-0709-7.
 42. Brumagne S, Janssens L, Janssens E, Goddyn L. Altered postural control in anticipation of postural instability in persons with recurrent low back pain. *Gait Posture*. 2008 Nov;28(4):657-62. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.04.015.
 43. Mok NW, Brauer SG, Hodges PW. Changes in lumbar movement in people with low back pain are related to compromised balance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011 Jan 1;36(1):E45-52. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181dfce83.
 44. Claeys K, Brumagne S, Dankaerts W, Kiers H, Janssens L. Decreased variability in postural control strategies in young people with non-specific low back pain is associated with al-

-
- tered proprioceptive reweighting. *Eur J Appl Physiol*. 2011 Jan;111(1):115-23. doi: 10.1007/s00421-010-1637-x.
45. Mok NW, Brauer SG, Hodges PW. Postural recovery following voluntary arm movement is impaired in people with chronic low back pain. *Gait Posture*. 2011 May;34(1):97-102. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.03.021.
46. della Volpe R, Popa T, Ginanneschi F, Spidalieri R, Mazzocchio R, Rossi A. Changes in coordination of postural control during dynamic stance in chronic low back pain patients. *Gait Posture*. 2006 Nov;24(3):349-55.
47. Henry SM, Hitt JR, Jones SL, Bunn JY. Decreased limits of stability in response to postural perturbations in subjects with low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006 Nov;21(9):881-92.
48. Popa T, Bonifazi M, Della Volpe R, Rossi A, Mazzocchio R. Adaptive changes in postural strategy selection in chronic low back pain. *Exp Brain Res*. 2007 Mar;177(3):411-8.
49. Leitner C, Mair P, Paul B, Wick F, Mittermaier C, Sycha T, Ebenbichler G. Reliability of posturographic measurements in the assessment of impaired sensorimotor function in chronic low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009 Jun;19(3):380-90.
50. Salavati M, Mazaheri M, Negahban H, Ebrahimi I, Jafari AH, Kazemnejad A, Parnianpour M. Effect of dual-tasking on postural control in subjects with nonspecific low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Jun 1;34(13):1415-21. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181a3a917.
51. Mazaheri M, Salavati M, Negahban H, Sanjari MA, Parnianpour M. Postural sway in low back pain: Effects of dual tasks. *Gait Posture*. 2010 Jan;31(1):116-21. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.09.009.
52. Riley MA, Balasubramaniam R, Turvey MT. Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait Posture*. 1999 Mar;9(1):65-78.
53. Sherafat S, Salavati M, Takamjani IE, Akhbari B, Rad SM, Mazaheri M, Negahben H, Lali P. Effect of dual-tasking on dynamic postural control in individuals with and without nonspecific low back pain. *J Manipulative Physiol Ther*. 2014 Mar-Apr;37(3):170-9. doi: 10.1016/j.jmpt.2014.02.003.
54. Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996 Nov 15;21(22):2640-50.

-
55. Hodges PW, Richardson CA. Altered trunk muscle recruitment in people with low back pain with upper limb movement at different speeds. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999 Sep;80(9):1005-12.
 56. Hodges PW. Changes in motor planning of feedforward postural responses of the trunk muscles in low back pain. *Exp Brain Res.* 2001 Nov;141(2):261-6.
 57. Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. *Brain.* 2008 Aug;131(Pt 8):2161-71. doi: 10.1093/brain/awn154.
 58. MacDonald D, Moseley GL, Hodges PW. Why do some patients keep hurting their back? Evidence of ongoing back muscle dysfunction during remission from recurrent back pain. *Pain.* 2009 Apr;142(3):183-8. doi: 10.1016/j.pain.2008.12.002.
 59. Jacobs JV, Henry SM, Nagle KJ. Low back pain associates with altered activity of the cerebral cortex prior to arm movements that require postural adjustment. *Clin Neurophysiol.* 2010 Mar;121(3):431-40. doi: 10.1016/j.clinph.2009.11.076.
 60. Massé-Alarie H, Flamand VH, Moffet H, Schneider C. Corticomotor control of deep abdominal muscles in chronic low back pain and anticipatory postural adjustments. *Exp Brain Res.* 2012 Apr;218(1):99-109. doi: 10.1007/s00221-012-3008-9.
 61. Hedayati R, Kahrizi S, Parnianpour M, Bahrami F, Kazemnejad A, Mobini B. The study of the variability of anticipatory postural adjustments in patients with recurrent non-specific low back pain. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2014;27(1):33-40. doi: 10.3233/BMR-130416.
 62. Massé-Alarie H, Beaulieu LD, Preuss R, Schneider C. Task-specificity of bilateral anticipatory activation of the deep abdominal muscles in healthy and chronic low back pain populations. *Gait Posture.* 2015 Feb;41(2):440-7. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.11.006.
 63. Suehiro T, Mizutani M, Ishida H, Kobara K, Osaka H, Watanabe S. Individuals with chronic low back pain demonstrate delayed onset of the back muscle activity during prone hip extension. *J Electromyogr Kinesiol.* 2015 Aug;25(4):675-80. doi: 10.1016/j.jelekin.2015.04.013.
 64. Radebold A, Cholewicki J, Panjabi MM, Patel TC. Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000 Apr 15;25(8):947-54.
 65. Newcomer KL, Jacobson TD, Gabriel DA, Larson DR, Brey RH, An KN. Muscle activation patterns in subjects with and without low back pain. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002 Jun;83(6):816-21.

-
66. Stokes IA, Fox JR, Henry SM. Trunk muscular activation patterns and responses to transient force perturbation in persons with self-reported low back pain. *Eur Spine J*. 2006 May;15(5):658-67.
 67. Leinonen V, Airaksinen M, Taimela S, Kankaanpää M, Kukka A, Koivisto T, Airaksinen O. Low back pain suppresses preparatory and triggered upper-limb activation after sudden upper-limb loading. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007 Mar 1;32(5):E150-5.
 68. 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 (Phila Pa 1976)*. 2007 Dec 15;32(26):E801-8.
 69. MacDonald D, Moseley GL, Hodges PW. People with recurrent low back pain respond differently to trunk loading despite remission from symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 Apr 1;35(7):818-24. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181bc98f1.
 70. Jacobs JV, Henry SM, Jones SL, Hitt JR, Bunn JY. A history of low back pain associates with altered electromyographic activation patterns in response to perturbations of standing balance. *J Neurophysiol*. 2011 Nov;106(5):2506-14. doi: 10.1152/jn.00296.2011.
 71. Jones SL, Henry SM, Raasch CC, Hitt JR, Bunn JY. Individuals with non-specific low back pain use a trunk stiffening strategy to maintain upright posture. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012 Feb;22(1):13-20. doi: 10.1016/j.jelekin.2011.10.006.
 72. Jones SL, Hitt JR, DeSarno MJ, Henry SM. Individuals with non-specific low back pain in an active episode demonstrate temporally altered torque responses and direction-specific enhanced muscle activity following unexpected balance perturbations. *Exp Brain Res*. 2012 Sep;221(4):413-26. doi: 10.1007/s00221-012-3183-8.