

ALTERAÇÕES NO RECRUTAMENTO DOS MÚSCULOS ABDOMINAIS EM INDIVÍDUOS COM HISTÓRIA DE DOR LOMBOPÉLVICA EM MOVIMENTOS DO MEMBRO SUPERIOR

PAULO CARVALHO¹, CAMILO MOREIRA¹, MANUEL RUBIM SANTOS¹, JOÃO PAULO VILAS BOAS²

¹Centro de Estudos do Movimento e Actividade Humana (CEMAH)/Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto (ESTSP)/Instituto Politécnico do Porto (IPP)/Vila Nova de Gaia/Portugal

²CIFI2D, Faculdade de Desporto, Universidade do Porto (FADEUP)/Porto/Portugal

Alterações no recrutamento dos músculos abdominais na dor lombopélvica

Altered abdominal muscle recruitment in lumbopelvic pain

Palavras-chave: Dor Lombopélvica, Controlo motor, *Feedforward*, Electromiografia de superfície

Key-words: Lumbopelvic pain, Motor control, Feedforward, Surface electromyography

RESUMO

Objectivo: Verificar se existem alterações no padrão de recrutamento do transverso do abdómen/oblíquo interno, recto abdominal e oblíquo externo em indivíduos com história de dor lombopélvica aguda.

Métodos: Foi realizado um estudo do tipo observacional, analítico e transversal, cuja amostra consistia num grupo de 15 indivíduos que nunca tiveram dor lombopélvica e por outro de 14 indivíduos do sexo feminino que tiveram pelo menos episódio de dor lombopélvica aguda nos últimos 6 meses. Foi recolhida e avaliada por electromiografia de superfície a actividade dos músculos acima referenciados e do deltóide, durante os movimentos rápidos de flexão, abdução e extensão do ombro. Analisou-se e foi comparado entre os dois grupos o padrão de recrutamento dos músculos abdominais.

O teste de Mann-Whitney foi utilizado para comparar a média do tempo de activação muscular entre os dois grupos. O teste de Friedman foi efectuado para comparar o tempo de activação entre os músculos avaliados em cada direcção de movimento (com nível de significância de 5%).

Resultados: Registou-se um atraso na activação do transverso do abdómen no movimento de flexão e abdução do ombro e ainda perda da activação independente entre os músculos superficiais e profundos estudados.

Conclusão: O padrão de recrutamento dos músculos abdominais associado ao movimento do ombro encontra-se alterado em indivíduos com história de dor lombopélvica aguda.

ABSTRACT

Objective: To verify the existence of modifications in the recruitment of transverses abdominus /obliquus internus abdominus, rectus abdominus and obliquus abdominus externus in individuals with a story of acute lumbopelvic pain.

Methods: It was made an analytical, observational and transversal study whose sample was composed by a group of 15 women that never experienced acute lumbopelvic pain and by another group of 14 women, which had at least one episode of acute lumbopelvic pain in the last 6 months. The activity of the muscles above mentioned and of deltoid was collected and accessed by surface electromyography during fast flexion, abduction and extension movements of the shoulder. The abdominal muscles recruitment was comparatively analyzed. The Mann-Whitney test was used to compare the average of the time of muscular activation between two groups. The Friedman test was used to compare the activation time between the evaluated muscles in the three movement directions (with a significance level of 5%).

Results: It was registered a delay in the activation of the transverses abdominus in the flexion and abduction movement of the shoulder and loss of the independent activation of the surface and deep muscles studied. These results are in concordance with previous studies conducted with subjects with chronic low back pain.

Conclusion: The recruitment of the abdominal muscles associated with shoulder movement is modified in subjects with a story of acute lumbo-pelvic pain.

INTRODUÇÃO

O desafio do Sistema Nervoso Central (SNC) para mover e estabilizar a coluna vertebral é enorme, uma vez que tem de analisar continuamente o estado da estabilidade, planear mecanismos para responder a perturbações previsíveis e iniciar rapidamente a actividade em resposta a perturbações não previstas¹.

A estabilidade lombopélvica é controlada por antecipação (*feedforward*) quando o distúrbio aplicado ao tronco é previsível. A activação dos músculos estabilizadores locais - Transverso do Abdómen (TrA) e Multifídus (Mu) - ocorre antes dos músculos responsáveis pelo movimento dos membros superiores^{2,3} e inferiores⁴ e antes de uma carga adicionada ao tronco de forma prevista⁵. Neste tipo de tarefas, o SNC prevê o efeito que o movimento terá no corpo e planeia uma sequência de activação muscular para responder a esta perturbação⁶.

O TrA é activado de forma antecipatória independentemente da direcção do movimento do tronco², da direcção da aceleração positiva ou negativa do tronco, da direcção das forças aplicadas por perturbação e da direcção do deslocamento do centro de massa⁷. Os músculos estabilizadores globais e mobilizadores apenas são recrutados de forma antecipatória quando a sua acção se opõe à direcção das forças que actuam na coluna vertebral^{4,5}. Deste modo, pelo mecanismo de *feedforward*, o SNC controla o movimento intervertebral através da actividade dos músculos estabilizadores locais, a qual é independente da direcção do movimento e controla a orientação vertebral pela actividade específica dos músculos estabilizadores globais¹. Nas alterações no controlo motor em indivíduos com dor lombopélvica crónica descritas pela literatura, a informação mais consistente é o atraso na activação do TrA na execução de movimentos dos membros superiores e inferiores em todas as direcções^{2,3,8}. É também referenciada uma diminuição da amplitude na actividade do Mu lombar em indivíduos com dor lombopélvica¹, consistente com as alterações verificadas na sua morfologia (alteração na composição das fibras e diminuição da área de secção transversa) e no aumento da fadiga. Existe ainda evidência de que o Mu não recupera espontaneamente após a remissão da sintomatologia dolorosa⁹. Para além da diminuição da actividade dos músculos profundos, é ainda documentado o aumento da actividade dos músculos superficiais globais. Estudos realizados por Dieen, Cholewicki e Radebold¹⁰ consolidam a hipótese de que o aumento da actividade dos músculos estabilizadores globais decorre da tentativa de compensar a diminuição da estabilidade vertebral, resultante da perturbação da função dos músculos estabilizadores locais¹⁰.

Vários autores reportam a existência de alterações no controlo motor dos músculos do tronco em indivíduos com dor lombopélvica. Apesar de não existir consenso relativamente à natureza dessas alterações, evidências apontam para alterações diferentes e específicas nos músculos locais e nos músculos superficiais globais da região lombopélvica.

Não é certo até que ponto a dor causa alterações no controlo motor ou até que ponto as alterações no controlo motor são responsáveis pela dor. Farfan¹¹ e Panjabi¹², apresentaram modelos que sugerem que os défices no controlo motor são responsáveis por um controlo insuficiente do movimento articular, originando microtraumas repetidos e dor. Contudo, existem estudos que evidenciam que a dor pode ser responsável por alterações no controlo motor^{1,8}. Vários estudos, através da indução experimental de dor, reproduziram alterações no controlo motor semelhantes às identificadas nos indivíduos com dor lombopélvica^{8,13}. Existem também evidências consistentes de que a dor tem efeitos directos a nível cortical e que, mediante a sua presença, ocorrem alterações no córtex cerebral¹⁴, nomeadamente que o córtex cingulado anterior está cronicamente activo em indivíduos com dor lombopélvica crónica^{14,15}. É reconhecido o papel importante do córtex cingulado anterior nas respostas motoras, e as suas projecções directas para as áreas motoras e suplementares, responsáveis pelo controlo motor. A hipótese mais aceite, é que a activação destas regiões corticais durante a dor pode influenciar directamente o controlo do movimento, e, originar as alterações no padrão de recrutamento dos músculos do tronco¹.

Outros estudos suportam a hipótese de que o stress¹⁶ e o medo^{17,18} também podem contribuir para alterações no controlo motor.

Dada a elevada prevalência de dor lombopélvica aguda, torna-se relevante avaliar o padrão de recrutamento muscular, uma vez que, a possível existência de alterações no controlo motor é um factor relevante na recorrência de dor¹.

O objectivo deste estudo foi o de verificar se existem alterações no padrão de recrutamento do transverso do abdómen/oblíquo interno (TrA/OI), recto abdominal (RA) e oblíquo externo (OE), durante os movimentos de flexão, abdução e extensão do ombro, em indivíduos com história de dor lombopélvica aguda. Pretendeu-se avaliar, também, o padrão de activação entre estes músculos.

MÉTODOS

Amostra

Participaram neste estudo 29 indivíduos voluntários, do sexo feminino, distribuídos por dois grupos. Para o grupo 1 foram seleccionados 15 indivíduos sem história de dor lombopélvica e para o grupo 2, 14 indivíduos que tiveram um ou mais episódios de dor lombopélvica aguda, de duração superior a uma semana, nos últimos 6 meses. As características de ambos os grupos encontram-se presentes na tabela 1.

Tabela 1. Valores da média, desvio-padrão e limites mínimo e máximo da idade, peso, altura e duração da dor nos grupos 1 e 2.

	Grupo 1			Grupo 2			
	Idade (anos)	Peso (Kg)	Altura (m)	Idade (anos)	Peso (Kg)	Altura (m)	Duração da dor (anos)
Média	20,80	54,27	1,64	20,62	53,85	1,64	2,54
Desvio padrão	1,57	3,33	0,05	1,39	3,89	0,06	0,78
Mediana	20	53	1,65	21	53	1,67	3
Mínimo	24	50	1,50	24	50	1,50	1
Máximo	19	60	1,69	19	61	1,70	4

Foram critérios de inclusão a ausência de patologia respiratória, neurológica ou do tracto urinário¹⁹, com acentuadas deformidades esqueléticas ou posturais⁴, submetidos a cirurgias à parede abdominal ou coluna vertebral²⁰, grávidas ou que tenham sido mães há menos de um ano⁴ e prega cutânea suprailíaca superior a 20 mm¹⁹.

Instrumentos

Na recolha e tratamento do sinal eletromiográfico da activação dos músculos TrA/OI, OE, RA e Deltóide (porção anterior, média e posterior), foi utilizado o sistema MP150WSW da Biopac (*Biopac Systems Inc., Santa Barbara, CA, USA*), e o respectivo software de aquisição e análise *Acqknowledge*® versão 3.9.

Os dados foram recolhidos com uma frequência de recolha de 1000 Hz, com eléctrodos de superfície activos bipolares TSD150B (Ag/AgCl), com uma distância inter-eléctrodo de 20 mm e um diâmetro de 11.4 mm.

Procedimentos

Os procedimentos foram testados, antes da recolha de dados, num indivíduo que não fez parte do estudo, seleccionado mediante os critérios de inclusão e exclusão. Foi efectuada a prática dos movimentos antes do teste, para familiarizar os indivíduos com o movimento pretendido. A pele foi cuidadosamente preparada para reduzir a sua impedância. Os pelos foram retirados, a superfície morta da pele removida por abrasão com uma lixa apropriada e, de seguida, a pele foi limpa com álcool^{20,21}. Na recolha da actividade do deltóide, os eléctrodos foram colocados no meio do ventre muscular, na porção anterior, média e posterior, paralelamente às fibras musculares responsáveis por cada movimento. O eléctrodo para avaliar a actividade do TrA/OI foi colocado 2 cm em direcção medial e inferior à espinha ilíaca antero-superior. Para recolher a actividade do OE o eléctrodo foi colocado 13 cm acima do umbigo, em linha directa com as costelas. Para o RA o eléctrodo foi posicionado 3 cm superiormente ao umbigo e 2 cm lateralmente à linha alba. O eléctrodo terra foi colocado no maléolo lateral²⁰. Os eléctrodos foram fixados com tape e colocados com o indivíduo na posição ortostática para eliminar o movimento da pele que poderia ocorrer enquanto se move da posição de deitado para uma posição vertical²⁰.

A actividade electromiográfica dos músculos acima referenciados foi recolhida e analisada em ambos os grupos, durante o movimento de flexão unilateral, abdução unilateral e extensão unilateral do ombro. Estes movimentos foram pedidos sempre pela mesma ordem: flexão, abdução e extensão e os indivíduos foram instruídos a realizar o movimento o mais rápido possível após o comando verbal. O tempo entre cada repetição foi aleatório. Foram recolhidos dados de três repetições de cada movimento do membro superior direito, para cada direcção do movimento e realizada a média, para determinar o tempo de activação dos músculos acima referenciados²⁰.

O ruído do electrocardiograma nos músculos abdominais, quando presente, foi removido utilizando um filtro FIR (*finite impulse response*) de altas frequências de 50 Hz (nº de coeficientes - 800)¹⁹. A filtragem digital realizou-se com um filtro de baixas frequências de 10 Hz e um de altas frequências de 450 Hz. Depois foi efectuada a rectificação da curva, seguindo-se a suavização por média móvel com uma janela de 10 amostras^{19, 20}. Por fim, foi calculado o valor de *Root Mean Square* (RMS).

Definiu-se o início da actividade electromiográfica como o ponto onde a média da RMS de 30 *frames* consecutivas (30 ms) excedem a actividade de base por 3 desvios padrão. A actividade

de base foi definida no período de 500 ms antes do comando verbal para o início do movimento⁵. Cada tempo de activação processado pelo *Acqknowledge*[®] foi também analisado visualmente para assegurar que o início da activação não fosse deturpado ou perturbado por um qualquer ruído. O início da activação analisada visualmente identificou-se como o ponto onde a actividade EMG deriva claramente da linha base (média da RMS + 3 desvios padrão)²⁰. A contracção muscular por *feedforward* implica que a activação de um músculo não seja um reflexo ao movimento do membro. Hodges e Richardson^{2,22} referem que o movimento do membro superior se encontra atrasado entre 30 a 114 ms relativamente à activação do primeiro músculo. Concluíram que, pelo tempo necessário para a condução nervosa e transmissão sináptica, a primeira resposta reflexa do movimento do membro não pode ocorrer em menos de 30 ms após a activação do primeiro músculo. Qualquer actividade antes ou ligeiramente depois deste ponto não pode ser mediada por via reflexa. Assim, o critério estabelecido por Hodges e Richardson⁴ para o período de latência dos músculos abdominais refere que a activação tem de se iniciar até 50 ms depois do deltóide para ser considerada *feedforward*.

Ética

Todos os sujeitos que de forma voluntária participaram no estudo foram informados acerca do mesmo, sendo-lhes explicado os procedimentos bem como esclarecidas quaisquer dúvidas daí provenientes. Todos os indivíduos tiveram conhecimento da possibilidade de recusarem, a qualquer momento, prosseguir com a sua participação na investigação. De forma escrita manifestaram o seu consentimento de participação segundo o protocolo da Declaração de Helsínquia.

Estatística

A análise descritiva para caracterização da amostra foi efectuada utilizando a média, mediana, desvios padrão, máximos e mínimos. Foi realizada estatística inferencial. O tratamento de dados realizou-se no programa estatístico *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS versão 16.0)*. O Intervalo de Confiança utilizado foi de 95%, correspondendo a um nível de significância de 0,05.

A normalidade de todas as variáveis foi testada através do teste de Shapiro-Wilk e como nenhuma variável seguiu a normalidade, o teste de Mann-Whitney foi utilizado para comparar

o tempo de activação do TrA/OI, OE e RA na flexão, abdução e extensão do ombro, entre os dois grupos.

O teste não paramétrico de Friedman foi utilizado para comparar o tempo de activação entre os músculos avaliados, nas três direcções de movimento, em ambos os grupos.

RESULTADOS

Quando os indivíduos sem dor (grupo 1) realizaram o movimento de flexão, abdução e extensão, registou-se pré-activação do transverso do abdómen. Nos indivíduos com história de dor lombopélvica aguda (grupo 2) registou-se um atraso na activação do transverso do abdómen na flexão e abdução, sendo as diferenças no tempo de activação estatisticamente significativas (Tabela 2).

Tabela 2. Média, desvio padrão e valor prova (valor p) dos tempos de activação dos Transverso do Abdómen/Oblíquo Interno (TrA/OI), Oblíquo Externo (OE) e Recto Abdominal (RA) no movimento de flexão, abdução e extensão do ombro no teste de Mann Whitney.

	Grupo 1 (Tempos de activação - ms)	Grupo 2 (Tempos de activação -ms)	Valor p
TrA/OI			
Flexão	8,5±23,7	55,0±23,5	0,007*
Abdução	13,3±21,0	58,3±26,1	0,015*
Extensão	20,6± 13,1	35,0±15,2	0,094
OE			
Flexão	69,2±11,1	64,7±19,3	0,546
Abdução	81,9±32,0	81,9±14,2	0,258
Extensão	35,6±8,2	28,3±10,3	0,077
RA			
Flexão	68,3±13,2	59,3±19,0	0,079
Abdução	75,6±19,5	75,6±24,6	0,079
Extensão	32,2±7,0	32,2±11,3	0,094

* Diferenças estatisticamente significativas para $\alpha=0,05$

O grupo 2 apresenta ainda um padrão de activação dos músculos profundos semelhante aos músculos superficiais avaliados, em todas as direcções do movimento, contrariamente ao grupo 1, que apenas apresenta um padrão de activação semelhante entre músculos profundos e superficiais no movimento de extensão do ombro (Tabela 3).

Tabela 3. Valores prova obtidos na aplicação do teste de Friedman na análise do tempo de activação entre oTrA/OI, OE e RA, nas diferentes direcções de movimento.

	<i>Valor p</i> <i>Grupo 1</i>	<i>Valor p</i> <i>Grupo 2</i>
Flexão	0,002*	0,063
Abdução	0,001*	0,412
Extensão	0,053	0,131

* Diferenças estatisticamente significativas para $\alpha=0,05$

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo indicam que o padrão de recrutamento dos músculos abdominais, associado ao movimento do ombro, se encontra alterado numa amostra de 14 indivíduos com história de dor lombopélvica aguda. Esta alteração manifesta-se pelo atraso na activação do TrA, no movimento de flexão e abdução do ombro, e ainda pela perda da activação independente entre os músculos superficiais e profundos estudados.

No grupo dos indivíduos sem dor, o TrA foi pré-activado em todas as direcções do movimento e o seu padrão de activação manteve-se independente da direcção do movimento. O OE e o RA apenas foram pré-activados na extensão. Estes resultados concordam com estudos prévios que indicam que o TrA é activado de forma antecipatória no mesmo tempo e magnitude, independentemente da direcção dos movimentos do membro superior^{4,5}. Esta actividade muscular contribui significativamente para o controlo das forças de corte aplicadas à coluna, resultantes do movimento das extremidades e para o controlo do deslocamento do centro de massa resultante das alterações na configuração corporal¹.

Os músculos superficiais apenas são pré-activados em direcções específicas do movimento^{4,5,23}. O SNC recruta os músculos superficiais de forma antecipatória quando a sua acção se opõe à direcção das forças que actuam na coluna vertebral. Deste modo, pelo mecanismo de *feedforward*, o SNC controla o movimento intervertebral através da actividade dos músculos estabilizadores locais, cuja actividade tónica é independente da direcção do movimento e controla a orientação vertebral pela actividade específica dos músculos estabilizadores globais¹. Nos indivíduos participantes neste estudo com história de dor lombopélvica o TrA assumiu um padrão de activação semelhante aos músculos superficiais, sendo que apenas foi pré-activado na extensão.

Os resultados encontrados neste estudo na avaliação do padrão de recrutamento muscular em indivíduos com dor lombopélvica vão de encontro à evidência resultante de estudos

semelhantes realizados em indivíduos com lombalgia crónica, com tempo médio de existência de dor superior a 8 anos e presença de pelo menos um episódio de dor por cada ano^{3,4,5,10}. Foram também reproduzidas alterações semelhantes na indução experimental de dor¹³. Ainda relativamente às alterações no controlo motor de indivíduos com dor lombopélvica crónica identificados noutros estudos, existe evidência do atraso no relaxamento dos músculos superficiais abdominais, particularmente o OE, quando um peso foi inesperadamente colocado no tronco⁷ e grande actividade do mesmo durante esforços de rotação do tronco²⁶, diminuição da actividade tónica do TrA e aumento do seu limiar de activação¹. Outro dado consistente é a actividade mantida do erector da coluna no final da amplitude de flexão vertebral, onde normalmente este músculo não se encontra activo²⁷, embora neste estudo não tivesse sido avaliada a sua actividade.

A estratégia normal pela qual os ajustes posturais são controlados, durante o movimento dos membros, envolve uma activação diferencial entre os músculos superficiais e profundos do tronco. As alterações encontradas no padrão de recrutamento muscular em indivíduos com história de dor lombopélvica, com perda da activação independente entre músculos superficiais e profundos, embora seja menos complexo em termos de controlo neural, podem comprometer a função óptima da coluna vertebral^{1,5,6}.

O TrA, em conjunto com as fibras posteriores do OI e com as fibras profundas do multífidos lombar, assume um papel crucial na estabilidade funcional das articulações vertebrais, através de uma activação contínua de baixa intensidade, em todas as posições articulares e em todas as direcções do movimento. A actividade destes músculos tende a aumentar o *stiffnes* muscular local a nível segmentar, especialmente na posição neutra, onde o suporte passivo fornecido pelos ligamentos e cápsula é mínimo^{11,12}. A importância da actividade do TrA tem sido amplamente estudada e tem sido questionado até que ponto um atraso na sua activação, na ordem dos milissegundos, poderá ter influência significativa no controlo vertebral¹. É contudo universalmente aceite a importância da pré-activação do TrA, uma vez que os músculos estabilizadores globais e mobilizadores não são capazes de fornecer estabilidade de forma selectiva a cada segmento intervertebral e possuem uma capacidade limitada para fornecer estabilidade à articulação sacro-iliaca²⁵. Devido à instabilidade da coluna vertebral, particularmente na zona neutra, estas alterações no padrão de recrutamento expõem as estruturas vertebrais a um risco aumentado de micro-traumas e lesão, e parecem constituir um factor relevante na recorrência de dor lombopélvica¹.

A identificação de alterações no controlo motor em indivíduos com dor lombopélvica remete-nos para a importância da reeducação destes pacientes incluir as estratégias de planeamento motor²⁷. Contudo, existe evidência limitada acerca da eficácia do treino na influência das reacções de *feedforward*, bem como evidência pouco clara acerca do tipo de exercícios que devem ser realizados. Hodges e Tsau²⁷ realizaram um estudo no qual investigaram se o treino que envolve activação muscular voluntária pode reverter os mecanismos de *feedforward* alterados em indivíduos com dor lombopélvica e de que forma estes podem ser influenciados pela forma como o músculo é treinado. O padrão de activação dos músculos do tronco foi avaliado em 22 indivíduos com dor lombopélvica antes e depois da realização de exercícios. Um dos grupos realizou treino com activação muscular voluntária do TrA, através da manobra *drawing-in*, e o outro grupo com activação muscular conjunta dos abdominais, através do *curl-up*. Foi monitorizada a actividade muscular por electromiografia de profundidade durante a realização dos exercícios. No final do treino apenas o grupo que realizou activação muscular isolada do transverso do abdómen apresentou um padrão de activação semelhante aos indivíduos sem dor. Estes resultados evidenciam que o treino com activação muscular isolada pode modificar as reacções posturais de *feedforward* e que a magnitude dos efeitos é influenciada pelo tipo e qualidade da reeducação neuromuscular²⁷. O'Sullivan, Towney e Allison²⁸ concluíram que, a intervenção baseada em exercícios de activação consciente dos músculos abdominais profundos, pode influenciar os padrões automáticos de activação dos mesmos, nomeadamente no aumento do rácio de activação do OI relativamente ao RA. Outro estudo, realizado por Watson, Oldham e Koumantakis²⁹, evidenciou que tanto os exercícios que envolvem activação isolada quanto os exercícios com activação conjunta dos músculos abdominais, podem diminuir a sintomatologia e a incapacidade²⁹. Contudo, estes autores não avaliaram o recrutamento neuromuscular, podendo os resultados obtidos ser devidos a outros factores.

CONCLUSÃO

Neste estudo verificou-se alteração no padrão de recrutamento do transverso do abdómen/oblíquo interno durante os movimentos de flexão e abdução do ombro, em indivíduos com história de dor lombopélvica. Registou-se ainda neste grupo, um padrão de activação semelhante entre os músculos superficiais e profundos do tronco em todas as direcções do movimento, com perda da activação independente entre estes grupos musculares.

REFERÊNCIAS

1. Richardson C, Hodges P, Hides J. Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization. A Motor Control Approach for the Treatment and Prevention of Low Back Pain. 2nd edition Churchill Livingstone; 2004.
2. Hodges P, Richardson C. Feedforward contraction of transverses abdominus is not influenced by the direction of arm movement. *Experimental Brain Research* 1997a; 114:62-370.
3. Hodges P, Richardson C. Contraction of the abdominal muscles associated with movements of lower limb. *Physical Therapy* 1997b; 77:132-144.
4. Hodges P, Richardson A. Altered trunk muscle recruitment in people with low back pain with upper limb movement at differential speeds. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1999a; 80:1005-1012.
5. Hodges P, Richardson C. Transversus abdominis and superficial abdominal muscles are controlled independently in a postural task. *Neuroscience Letters* 1999b; 265: 91-94.
6. Hodges P. Is there a role for transverses abdominis in lumbo-pelvic stability? *Manual Therapy*. 1999; 4: 74-86.
7. Radebold A, Cholewicki J, Panjabi M, Patel T. Muscle response pattern to sudden trunk loading in health individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine* 2000; 25:947-954.
8. Radebold A, Cholewicki J, Polzhofer K, Greene S. Impaired postural control of lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine* 2001; 26:734-70.
9. Hides J, Stokes J, Saide M, Jull G, Cooper D. Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine* 1994; 19: 165-172.
10. Dieen J, Cholewicki J, Radebold A. Trunk Muscle Recruitment Patterns in Patients With Low Back Pain Enhance the Stability of the Lumbar Spine. *Spine* 2003; 28:834-841.
11. Farfan F. Muscular mechanism of the lumbar spine and the position of power and efficiency. *Clinical Orthopedic* 1975; 6:135-145.
12. Panjabi M. The stabilising system of the spine. Part 1. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *Journal of Spinal Disorders* 1992;5: 383-389.

13. Hodges P, Moseley M, Gabrielsson A, Gandevia S. Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. *Experimental Brain Research* 2003; 152:262-271.
14. Derbyshire S, Jones A, Gyulai F, Clark S, Townsend D, Firestone L. Pain processing during three levels of noxious stimulation produces differential patterns of central activity. *Pain* 1997; 73: 431-445.
15. Hsieh J, Belfrage M, Stone S, Hansson P, Invgar M. Central representation of chronic ongoing neuropathic pain studied by positron emission tomography. *Pain* 1995; 63: 225-236.
16. Jones C, Cale A. Goal difficulty, anxiety and performance. *Ergonomics* 1997; 40: 319-333
17. Vlaeyen W, Linton S. Fear-avoidance and its consequences in chronic musculoskeletal pain: a state of the art. *Pain* 2000; 85: 317-332.
18. Moseley L, Hodges P, Gandevia S. Attention demand, anxiety, and acute pain cause differential effects on postural activation of the abdominal muscles in humans. *Society of Neuroscience Abstract*, 2001.
19. Kamen G, Gabriel D. *Essentials of Electromyography*. Human Kinetics, 2010. p. 105-154.
20. Marshal P, Murphy B. The validity and Reability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2003;13: 477-489
21. Hodges P. Changes in motor planning of feedforward postural responses of the trunk muscles in low back pain. *Experimental Brain Research* 2001; 141: 261-266
22. Hodges P, Moseley C. Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2003; 13: 361-370
23. Hodges P, Richardson C. Relationship between limb movements speed and associated with contraction of trunk muscles. *Ergonomics* 1997c; 40: 1220-1230
24. Hodges P, Richardson C. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain: a motor control evaluation of transversus abdominus. *Spine* 1996; 21:2640-2650
25. Richardson C, Snijders J, Hides J, Damen L, Pas S, Storm J. The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanisms and low back pain. *Spine* 2002; 27:399-405

26. Richardson C, Parnianpour M, Kippers V. EMG activity of trunk muscles and torque output during isometric axial rotation exertion: a comparison between back pain and matched controls. *Journal of Orthopedic Research* 2002; 20:112-121
27. Hodges P, Tsao H. Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training. *Experimental Brain Research* 2007; 181:537-546
28. O'Sullivan P, Twomey L, Allison G. Altered abdominal muscle recruitment in patients with chronic back pain following a specific exercise intervention. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1998; 27(2): 114–124.
29. Watson P, Oldham J, Koumantakis G. Trunk Muscle Stabilization Training Plus General Exercise Versus General Exercise Only: Randomized Controlled Trial of Patients With Recurrent Low Back Pain. *Physical Therapy* 2005; 85: 209-225