

Marina Lúcia Ferreira

**COMPARAÇÃO DE VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DURANTE A
MARCHA EM PESSOAS COM E SEM LOMBALGIA E IMPLICAÇÕES
PARA INTERVENÇÃO:
UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2015

Marina Lúcia Ferreira

**COMPARAÇÃO DE VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS DURANTE A
MARCHA EM PESSOAS COM E SEM LOMBALGIA E IMPLICAÇÕES
PARA INTERVENÇÃO:
UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Especialização em Fisioterapia - Ortopedia pela Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientadora: Prof^a Dr^a Clarissa Cardoso dos Santos Couto Paz

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG
2015

RESUMO

O movimento dinâmico da coluna vertebral durante a caminhada é comprometido na presença de dor lombar, mas estas mudanças cinemáticas são inconsistentes e pouco avaliadas. Na avaliação tradicional, examina-se a postura e o movimento em pessoas com a crença de que a correção do movimento disfuncional possa reduzir a dor. Se o movimento disfuncional deve ser identificado com precisão, os profissionais devem saber o que constitui o movimento normal e como isso difere em pessoas com dor lombar. Em pessoas saudáveis, a coordenação entre rotações do tronco e da pelve, bem como a atividade dos paraespinhais variam sistematicamente com a velocidade da marcha, enquanto que uma adaptação nestes dois parâmetros é muitas das vezes reduzida ou ausente em indivíduos com lombalgia. Esta revisão sistemática analisou estudos que compararam os aspectos biomecânicos do movimento do tronco e da pelve em pessoas com e sem lombalgia não-específica durante a marcha em diferentes velocidades com intuito de identificar possíveis fatores associados as alterações observadas e guiar as intervenções que buscam melhorar o desempenho desses indivíduos em atividades funcionais. Cochrane Central Register of Controlled Trials, PubMed, LILACS, Scielo, Google Acadêmico foram pesquisados desde dezembro de 2014 até janeiro de 2015, utilizando palavras-chave como pelve e lombalgia, ou disfunções pélvicas e lombalgia, ou tórax-pelve e lombalgia na marcha para seleção de estudos que comparavam a marcha de adultos com e sem dor lombar usando prioritariamente esteira e técnicas de medidas com marcadores para medir o movimento lombo-pélvico. Um revisor aplicou critérios como idade, idioma e métodos aplicados para análise em estudos que buscassem a relação entre tronco e pelve na marcha de indivíduos com e sem dor lombar, os dados foram identificados, em seguida, excluídos aqueles em que a dor lombar tivesse como causa principal fatores neurológicos, cirúrgicos, oncológicos ou relacionadas à gestação, 10 estudos foram selecionados para revisão. Os resultados revelaram que, em comparação com pessoas saudáveis, em média, a marcha de indivíduos com lombalgia é caracterizada por uma coordenação menos flexível e mais rígida, com menor amplitude de rotação pélvica e um padrão de coordenação mais *in phase* mesmo em maiores velocidades, e maior pico de atividade do grupo de eretores da espinha, sugerindo uma maior rigidez do tronco. O conhecimento destas alterações poderá favorecer a elaboração de estratégias terapêuticas específicas na reabilitação de indivíduos com lombalgia.

Palavras-chave: Dor lombar. Distúrbios do movimento. Marcha. Coordenação pélvis-tórax. Variabilidade. Biomecânica.

ABSTRACT

The dynamic movement of the spine while walking is committed in the presence of low back pain, but these cinematic changes are inconsistent and poorly evaluated. In traditional evaluation, posture and movement are examined in people with the belief that the correction of dysfunctional movement can reduce pain. If the dysfunctional movement must be precisely identified, professionals must know what constitutes normal movement and how it differs in people with low back pain. In healthy people, the coordination between rotations of the trunk and pelvis, as well as the activity of paraspinal systematically vary with the speed of motion while adapting these two parameters is often reduced or absent in patients with low back pain. This systematic review looked at studies that compared the biomechanical aspects of trunk and pelvis movement in people with and without non-specific low back pain during walking at different speeds in order to identify possible factors associated with observed changes and guide interventions that seek to improve performance in functional activities of these individuals. Cochrane Central Register of Controlled Trials, PubMed, LILACS, Scielo, Google Scholar were surveyed from December 2014 to January 2015, using keywords like pelvis and low back pain, or pelvic and low back pain disorders, or thorax-pelvis and low back pain in march to selection of studies comparing adult gait with and without low back pain using priority treadmill and technical measures with markers to measure the lumbar-pelvic movement. One reviewer applied criteria such as age, language and measures applied to analysis of studies that seek the relationship between trunk and pelvis in the march of individuals with and without low back pain, after data were identified, then excluded those whose back pain had as main factors cause neurological, surgical, oncology or related to pregnancy, and 10 studies were selected for review. The results revealed that compared with healthy people, on average, gait of subjects with low back pain is characterized by a less flexible coordination and stiffer with lower amplitude pelvic rotation and more in coordination standard phase even at higher speeds, and higher peak activity of the spine erector group, suggesting an increased stiffness of the trunk. Knowledge of these changes may favor the development of specific therapeutic strategies in the rehabilitation of individuals with low back pain.

Keywords: Low back pain. Movement disorders. March. Pelvis-thorax coordination. Variability. Biomechanics.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
MÉTODOS	8
Banco de dados	8
Processo coleta de dados	9
RESULTADOS	12
Seleção de estudos	12
Características dos estudos	12
Avaliação da qualidade dos estudos	17
Análise dos resultados	17
Risco de viés entre os estudos	19
DISCUSSÃO	21
Sumário de evidências	17
Limitações.....	19
CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS	27

INTRODUÇÃO

Lombalgia é a principal causa de incapacidade em pessoas com idade superior a 45 anos nos Estados Unidos (AL-EISA *et al.*, 2006) e é considerada uma das principais queixas de indivíduos com disfunções do sistema musculoesquelético (CHOU *et al.*, 2007; Organização Mundial da Saúde – OMS; SWINKELS-MEEWISSE, 2003). Cerca de 80% das dores na região lombar são classificadas como “não específicas”, que se refere à dor nesta região sem sinais de uma condição grave subjacente, seja uma radiculopatia ou outra causa espinhal específica (CHOU *et al.*, 2007), sendo esta dor induzida e agravada por fatores mecânicos, tais como a movimentação nesta região (AL-EISA *et al.*, 2006).

As consequências da dor lombar incluem alterações do controle motor do tronco e a presença de diferentes estratégias de movimento de tronco e membros inferiores durante a realização de atividades específicas, como a marcha, o subir e descer escadas e o agachar (AL-EISA *et al.*, 2006; LAMOTH *et al.*, 2002b; SILVA, 2011). Além disso, um achado comum na literatura é que indivíduos com dor lombar realizam atividades motoras mais lentamente (LAMOTH *et al.*, 2006) e demonstram alterações nas amplitude e nos padrões de movimento que caracterizam estas atividades (AL-EISA *et al.*, 2006; LAMOTH *et al.*, 2002b; SILVA, 2011). No entanto, apesar dos estudos observacionais que demonstraram a associação entre a lombalgia e as alterações em padrões de movimento, pouco se conhece sobre como o movimento é afetado pela lombalgia e sobre como estas desordens decorrentes da lombalgia se manifestam em atividades funcionais (LAMOTH *et al.*, 2002b).

Dentre as atividades funcionais que envolvem o movimento coordenado entre o tronco e a alternância dos membros inferiores e que são acometidas em indivíduos com dor lombar destaca-se a marcha. A marcha necessita de coordenação motora e sinergia da atividade muscular adequada (MULLER *et al.*, 2015). A coordenação do controle motor lombopélvico é complexa, pois necessita de estabilidade da coluna e reação adequada contra forças internas e externas do organismo, os quais se apresentam ineficientes em indivíduos com dor lombar (SANTOS, 2011). Os problemas locomotores encontrados nos pacientes com lombalgia residem predominantemente na coordenação das rotações entre pelve e tórax. Uma avaliação da simetria de movimentos destes segmentos é necessária tendo em vista que esta pode indicar anormalidade no movimento da coluna lombar inferior sobre disfunções adjacentes. A

relação entre a assimetria dos movimentos do tronco e as disfunções pélvicas, e a influência desta assimetria sobre as alterações observadas na marcha vem sendo descritas na literatura (LAMOTH *et al.*, 2006; LAMOTH *et al.*, 2002a). Assimetria estrutural pélvica está associada a alterações de tecidos ativo e passivo, como músculos, ligamentos e fâscias que envolvem a região da coluna vertebral, bem como posturas compensatórias (AL-EISA *et al.*, 2006). Se a assimetria pélvica conduz aos padrões de movimento alterados que possam afetar negativamente as atividades do indivíduo que apresenta lombalgia, faz-se necessária a compreensão desta associação para o desenvolvimento de intervenções fisioterapêuticas apropriadas.

Na marcha fisiológica, o movimento pélvico está intimamente ligado à progressão da locomoção (LAMOTH *et al.*, 2002a). Alguns autores já revelaram a importância da coordenação entre os movimentos do tronco e da pelve durante a marcha, pois estes influenciam no controle da trajetória do centro de massa sobre a base de suporte, na redução do gasto energético e na forma de lidar com as forças internas e externas envolvidas na locomoção (SANTOS, 2011). Nestes estudos, foi encontrado que deficiências na coordenação dos movimentos destes segmentos podem resultar em dor lombar, uma vez que podem alterar as forças transmitidas para a coluna vertebral e aumentar o stress tecidual e articular das estruturas desta região (AL-EISA *et al.*, 2006; VOGHT *et al.*, 2003). Na marcha normal, em velocidades baixas, ao analisar esta coordenação no plano transversal, a pelve e o tronco demonstram movimentos sincronizados na mesma direção, sendo caracterizada como fase relativa próxima de 0 graus (AL-EISA *et al.*, 2006; LAMOTH *et al.*, 2006; LAMOTH *et al.*, 2002a; SEAY *et al.*, 2011a; Silva., 2011). Com o aumento da velocidade, a fase relativa destes segmentos se desvia de 0 graus em direção a 180, quando os movimentos mantêm-se sincronizados porém em direções opostas (SEAY *et al.*, 2011). Estes ajustes na coordenação parecem garantir uma estabilidade dinâmica e restringir movimentos laterais excessivos que poderiam resultar em sobrecarga articular (SILVA, 2011). Em indivíduos com lombalgia, este padrão de coordenação difere significativamente do descrito acima (LAMOTH *et al.*, 2006; LAMOTH *et al.*, 2002a). Nesta condição, o aumento da velocidade da marcha não é acompanhado por ajustes na fase relativa entre os segmentos, mostrando uma diminuição da adaptação de coordenação do tronco e pelve, sendo que as rotações pélvicas e torácicas tendem a uma coordenação *out phase* (contra-rotação da pelve e tronco) (LAMOTH *et al.*, 2006; LAMOTH *et al.*, 2002a; LAMOTH *et al.*, 2006b; VAN DEN HOORN, 2012). Este novo padrão adotado por estes indivíduos pode ser uma forma de compensar a coordenação

mais rígida dos segmentos do tronco e pelve no plano transversal (AL-EISA *et al.*, 2006). Entretanto, pode resultar em um aumento da sobrecarga tecidual e articular na coluna, podendo favorecer o desenvolvimento e/ou manutenção da lombalgia (SILVA, 2011; MULLER *et al.*, 2015). Assim, torna-se importante entender as variações do padrão de movimento do tronco e pelve durante a marcha de indivíduos com lombalgia, possibilitando a identificação de possíveis fatores associados a essas alterações com o intuito de guiar as intervenções na busca da melhora do desempenho da marcha em indivíduos com dor lombar.

O objetivo do presente estudo é identificar fatores biomecânicos associados a disfunções na coordenação do movimento entre o tronco e a pelve observados no contexto de atividades funcionais, especificamente a marcha, a qual é comumente acometida na presença de dor lombar. A identificação desses fatores poderá embasar o desenvolvimento de intervenções que visem melhorar a funcionalidade de indivíduos acometidos por essa condição de saúde.

MÉTODOS

Banco de dados

Para o desenvolvimento do presente estudo foi realizada uma revisão sistemática da literatura, sendo considerados artigos originais, artigos de revisão e livros que fizessem menção ao tema proposto e que tratassem de forma clara e objetiva o assunto. Para a elaboração da presente revisão foi utilizado o PRISMA como checklist (MOHER *et al.*, 2015).

Realizou-se a revisão de estudos que foram indexados no período de 1989 a 2014, utilizando seis bancos de dados eletrônicos, sendo, Cochrane Central Register of Controlled Trials, PubMed, LILACS, Scielo, Google Acadêmico. Os unitermos empregados para a busca dos artigos, de acordo com os descritores em ciências da saúde (DeCS), foram disfunções pélvicas e lombalgia, pelve e lombalgia na marcha, tórax-pelve e lombalgia na marcha, e suas respectivas traduções para a língua inglesa. Recorreu-se aos operadores lógicos “AND” e “OR” para combinação dos descritores e termos utilizados para rastreamento das publicações. A estratégia de busca foi baseada nos aspectos relacionados à PUBMED.

A pesquisa nas bases de dados eletrônicos foi realizada no período de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 por um revisor e, inicialmente, a análise para inclusão no presente estudo foi realizada baseando-se na leitura do título e do resumo para a remoção de artigos duplicados ou não relacionados ao tema central. Após este processo inicial, foi realizada a leitura do artigo completo e foram incluídos artigos considerando os critérios de inclusão e exclusão. Para inclusão nesta revisão, foram selecionados os estudos que: a) tivessem avaliado adultos com idade > 18 anos; (b) que fossem originais e publicados na língua portuguesa ou inglesa (c) que utilizaram medidas de avaliação não invasivas das variáveis; (d) aplicaram medidas semelhantes para avaliar pessoas com dor lombar e pessoas sem dor lombar; (d) cujo objetivo buscasse a relação entre tronco e pelve na marcha de indivíduos com lombalgia. Excluíram-se estudos que: (a) incluíssem pessoas que tinham realizado cirurgia nos últimos 12 meses; (b) indivíduos que apresentassem fraturas, problemas neurológicos,

doenças metabólicas, neoplasia ou escoliose; (c) apresentassem dados insuficientes relacionados às variáveis analisadas no presente estudo; (d) estudos de validação; (e) resumos em eventos e f) ausência de grupo controle. Após a seleção por meio das bases de dados eletrônicas, foram analisadas as referências citadas nos artigos incluídos para verificar a inclusão de outros artigos que não foram encontrados nestas bases de dados.

Após a leitura inicial, 32 artigos foram considerados elegíveis para a segunda fase da revisão. Entretanto, após a leitura dos artigos completos foram verificados conforme os critérios de exclusão. Ao final, 10 estudos atenderam a todos os critérios de inclusão. Um diagrama de fluxo do processo de seleção dos estudos baseados nas recomendações do PRISMA é reportado na Figura 1.

Processo de coleta de dados:

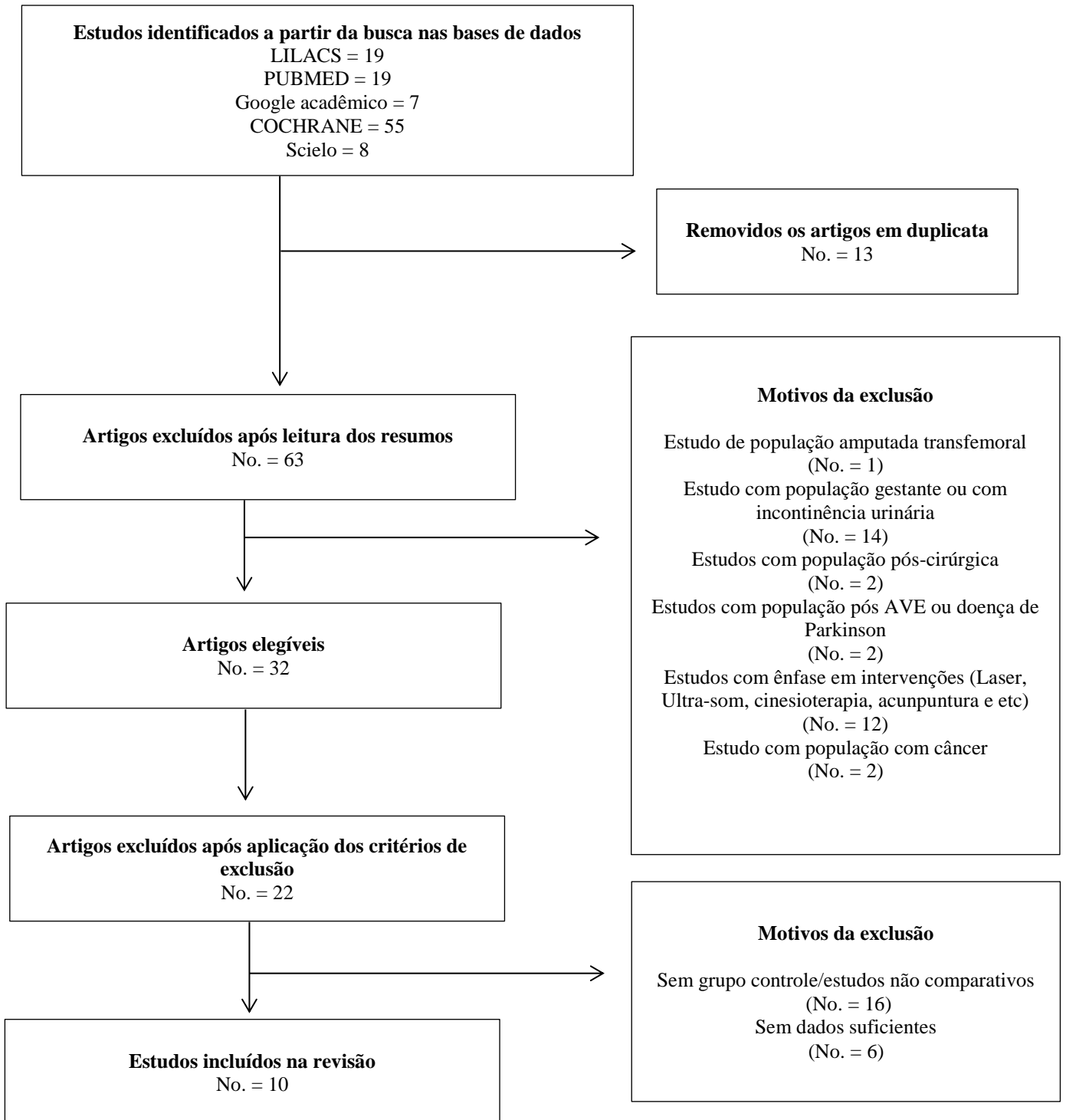
Extração de dados e Avaliação da qualidade dos estudos

Após a leitura do resumo e do artigo completo, um pesquisador foi responsável pela coleta e extração de dados referentes ao objetivo do presente estudo. Os seguintes detalhes dos estudos foram extraídos: características da amostra, como a idade e sexo dos participantes, onde foram recrutados, critérios de inclusão e exclusão, formação dos avaliadores (profissão, experiência), os métodos e procedimentos de medida (instrumentos utilizados, padronização e treinamento dos avaliadores, instruções aos participantes), as características de movimento avaliadas (velocidade, amplitude de movimento, padrão de movimento, coordenação, ativação muscular), instrumentos e/ou questionários de dor e função, e medidas de variabilidade para os grupos (média e desvio padrão). Após esta análise, as variáveis biomecânicas encontradas a partir da leitura dos artigos e selecionadas para análise foram: a coordenação de rotação tóraco-pélvica e lombo-pélvica nos planos transversal, frontal e transversal; a velocidade de caminhada; a amplitude de movimento de tronco e pelve; a presença ou não de assimetria pélvica; e atividade muscular dos eretores da espinha. Detalhes dos estudos como as características da amostra, variáveis cinemáticas e

resultados encontrados relacionados às variáveis biomecânicas analisadas foram resumidas em uma tabela para permitir a análise comparativa entre os estudos (Tabela 1).

Em seguida, foram analisados os riscos de viés em cada estudo. Após identificados, foi calculada a porcentagem de estudos que cumpriram os domínios de cada possível viés, como (i) população do estudo (idade, sexo, IMC, origem), (ii) avaliação da dor do participante com lombalgia (cronicidade, intensidade), (iii) procedimentos de medida (se permite a replicação precisa do estudo em outro posterior, descrição adequada dos instrumentos, padronização da avaliação), (iv) cegamento dos avaliadores quanto à presença ou ausência da dor, (v) se os mesmos procedimentos foram aplicados no grupo controle e grupo com lombalgia. Foi realizada uma análise prévia dos 10 estudos encontrados até o momento, sendo que os resultados encontrados foram resumidos em uma tabela (Tabela 2).

Figura 1. Fluxograma de identificação e seleção dos artigos para revisão de literatura



Trata-se, portanto, de uma revisão sistemática sem meta-análise, sendo realizada uma análise descritiva dos resultados.

RESULTADOS

Seleção dos estudos

A pesquisa identificou 108 artigos potencialmente relevantes com 6 artigos identificados a partir de bibliografias de artigos relacionados ou outras fontes. Após a triagem de títulos e resumos, textos completos 45 artigos foram relacionados, porém apenas 10 artigos preencheram os critérios de inclusão, conforme descrito na figura 01. Um resumo dos estudos incluídos pode ser visto na Tabela 1.

Características dos estudos

Na tabela 1 encontram-se informações gerais sobre cada estudo selecionado, listando o tamanho da amostra, variável cinemática estudada e os resultados encontrados. O tamanho da amostra dos 10 estudos variou entre 6 a 39 participantes, divididos entre grupo controle e grupo com lombalgia. Todos os participantes possuíam diagnóstico médico de lombalgia inespecífica com persistência de dor, sem origem traumática, neurológica, ou causada por tumores ou infecções da coluna vertebral, com sintomas persistindo em tempo médio de 3 meses a 3 anos. Os estudos foram compostos por voluntários de ambos os sexos, com predominância do sexo feminino. A variação de idade compreendeu entre 18 a 65 anos. Dentre os estudos incluídos, 90% forneceram detalhes sobre os critérios de diagnóstico, definindo os indivíduos com lombalgia de causa não específica, e 90% destes usaram a Escala Visual Analógica para avaliar a intensidade da dor.

A caminhada foi analisada em uma esteira, com mudanças pré-determinadas na velocidade, com média de aumentos de 0,8 a 1,4 km/h. Oito dos dez estudos selecionados utilizou gravações de vídeo com uso de câmeras de alta resolução e sistema de marcadores delimitando a região do tórax e pelve como método de análise dos movimentos destes segmentos, sendo os marcadores geralmente posicionados em T6 e L2 para captar movimentos de rotações do tronco e pelve respectivamente, e no calcânhar e quinta metatarsofalangeana para determinar os eventos do ciclo da marcha. Quatro dos dez estudos (SEAY *et al.*, 2011; SELLES *et al.*, 2001; LAMOTH *et al.*, 2006a; LAMOTH *et al.* 2006b)

utilizaram a técnica de fase relativa contínua (FRC), baseado na representação de velocidade-ângulo para medir a coordenação intersegmentar. Somente três (LAMOTH *et al.*, 2006a; LAMOTH *et al.*, 2006b; VAN DER HOORN *et al.* 2011) avaliaram a atividade dos músculos eretores da espinha utilizando dados eletromiográficos para identificar os picos de atividade muscular durante a marcha.

Tabela 1. Estudos listados em ordem cronológica considerando os autores, tamanho da amostra (n), idade dos indivíduos, qual variável o estudo avaliou, instrumentos utilizados para a coleta de dados e os resultados encontrados.

Autor/ano de publicação	N	Variável(s) cinemática(s)	Resultados encontrados
SELLES, et al.. (2001)	<p><i>Grupo LB:</i> N = 6 Sexo: 4 F e 2M IM±DP: 30 Tempo médio de lesão:</p> <p><i>Grupo CT:</i> N = 6 Sexo: 2 F e 4M IM±DP: 31</p>	<p>1) Velocidade da caminhada</p> <p>2) Coordenação dos movimentos de rotação do tórax e pelve na marcha</p> <p>3) Coordenação dos movimentos dos membros: a) relação de fase entre braço direito e esquerdo; b) braço direito e perna direita; c) braço esquerdo e perna esquerda.</p>	<p>Velocidade: menor velocidade de caminhada no grupo LB.</p> <p>Coordenação do tronco e pelve: grupo LB exibiu uma tendência de permanecer em coordenação <i>in phase</i> em velocidades altas, com um participante apresentando padrão <i>out phase</i> próximo a 1,5 km/h.</p> <p>Coordenação dos membros: o grupo LB exibiu assimetria entre os lados, onde o lado esquerdo apresentou alteração para coordenação <i>out phase</i> com o aumento da velocidade, enquanto o lado direito permaneceu <i>in phase</i>.</p>
LAMOTH, et al. (2002a)	<p><i>Grupo LB:</i> N = 39 Sexo: 27 F e 12M IM±DP: 38,8 Tempo de lesão: > 3 meses</p> <p><i>Grupo CT:</i> N = 19 Sexo: 9 F e 10M</p>	<p>1) Velocidade de caminhada</p> <p>2) Amplitude de rotações da pelve e tórax</p> <p>3) Coordenação do tórax e pelve na marcha (fase relativa de Fourier)</p> <p>4) Força de acoplamento</p>	<p>Velocidade: Menor velocidade de caminhada preferida</p> <p>Amplitude de movimento: ADM de rotação da pelve, tórax e tronco não foram significativamente diferentes</p> <p>Rotações da pelve e tórax: Coincidiram em condições de baixa velocidade em ambos os grupos;</p> <p>Coordenação: Durante velocidades mais altas há movimentos opostos, indicando uma coordenação <i>out phase</i></p> <p>- Acoplamento: baixas velocidades há maior acoplamento de rotações da pelve e do tórax</p>
LAMOTH, et al.. (2006b)	<p><i>Grupo LB:</i> N = 12 Sexo: 7 F e 5M IM±DP: 36,8±10,9 AM±DP: 1,74±0,11</p>	<p>1) Rotações tóracopélvica e lombopélvica no plano frontal e transversal</p> <p>2) padrões de coordenação</p>	<p>- Coordenação no Plano Transversal: diminuição da rotação tóracopélvica e lombopélvica com o aumento da</p>

	<p>PM±DP: 72,4±14,5 Tempo de lesão: > 3 meses</p> <p><i>Grupo CT</i>: N = 12 Sexo: 5 F e 7M IM±DP: 30 AM±DP: 1,80± PM±DP: 73,3±</p>	<p>do tronco-pelve e variabilidade de coordenação</p> <p>3) Atividade dos paraespinhais e variabilidade da atividade</p>	<p>velocidade; grande mudança na velocidade foi seguida de menor variabilidade; rotação lombopélvica permaneceu mais antifase, enquanto tóracopélvica mudou para antifase nas três maiores velocidades.</p> <p>-Coordenação no Plano Frontal: as rotações não foram afetadas de forma significativa</p> <p>- Padrões de coordenação: variabilidade residual foi maior nas rotação no plano transversal e menor no plano frontal.</p> <p>- Atividade dos eretores da espinha (ES): grupo LB exibe menor capacidade para se adaptar a mudanças na velocidade da marcha; maior atividade dos ES</p>
LAMOTH, et al. (2006a)	<p><i>Grupo LB</i>: N = 22 Sexo: 13F e 9M IM±DP: 38± AM±DP: 1,73±0,11 PM±DP: 74,4±14,5 Tempo médio de lesão: 1 a 2 anos</p> <p><i>Grupo CT</i>: N = 17 Sexo: 8F e 9M IM±DP: 31 AM±DP: 1,80± PM±DP: 72,5±</p>	<p>1) Amplitudes de rotação do tórax, lombar, segmentos pélvicos, tóracopélvica e lombopélvica no plano frontal transversal durante a marcha</p> <p>2) coordenação entre os segmentos do tronco e da pelve no plano frontal e transversal (fase relativa de Fourier)</p> <p>3) Atividade dos eretores da espinha na marcha</p> <p>4) Grau de acoplamento</p> <p>5) Comprimento do passo</p> <p>6) Velocidade da caminhada confortável</p>	<p>-Velocidade: Velocidade de caminhada menor do grupo LB em relação ao CT;</p> <p>Amplitude de movimento: Não foram encontradas diferenças significativas de para ADM das rotações;</p> <p>Rotação torácica e lombar: Menor variabilidade no grupo LB em velocidade confortável, e da rotação de lombar na velocidade prescrita;</p> <p>- Menor rotação tóracopélvica no plano transversal, mas sem diferenças de rotação tóraco ou lombopélvica no plano frontal;</p> <p>Grau de acoplamento: Baixo grau de acoplamento entre rotação torácica e pélvica no plano frontal.</p>
SEAY, et al. (2011a)	<p><i>Grupo LB</i>: N = 14 Sexo: 6 F e 8M IM±DP: 35,7±10,9 AM±DP: 1,71±0,12 PM±DP: 73,94±13,4 Tempo de lesão: > 4 meses</p> <p><i>Grupo RES</i>: N = 14 Sexo: 85F e 9M IM±DP: 32,56±9,42 AM±DP: 1,72±0,10 PM±DP: 71,43±9,75 Tempo de resolução dos sintomas: >6 meses</p>	<p>1) Coordenação do tronco e pelve durante a marcha</p> <p>2) ADM – ângulos dos movimentos dos segmentos</p>	<p>ADM: Não houve diferenças significativas para ADM de rotação da pelve e do tronco em diferentes velocidades de caminhada ou corrida; porém a rotação axial da pelve foi maior no grupo LB e RES.</p> <p>Coordenação: grupo LB apresentou aumento maior dos movimentos de tronco e de pelve com aumento da velocidade; grupo LB passou maior tempo em coordenação <i>in phase</i> de flexão lateral e rotação axial no plano transversal; e grupo LB e RES passaram</p>

	<p><i>Grupo CT:</i> N = 14 Sexo: 8 F e 6M IM±DP: 29,9±8,45 AM±DP: 1,69±0,10 PM±DP: 63,94±10,6</p>		maior tempo em coordenação antifase no plano sagital.
SEAY,.; et al. (2011b)	<p><i>Grupo LB:</i> N = 14 Sexo: 6 F e 8M IM±DP: 35,7±10,9 AM±DP: 1,71±0,12 PM±DP: 73,94±13,4 Tempo de lesão: > 4 meses</p> <p><i>Grupo RES:</i> N = 14 Sexo: 85F e 9M IM±DP: 32,56±9,42 AM±DP: 1,72±0,10 PM±DP: 71,43±9,75 Tempo de resolução dos sintomas: >6 meses</p>	<p>1) Rotações do tronco e pelve no plano transversal durante a marcha; 2) Coordenação tronco e pelve</p>	<p>Coordenação: maior coordenação <i>in phase</i> no plano frontal; Fase relativa contínua: menor no plano sagital e maior no plano frontal com aumento da velocidade; porém no plano transversal, foi menor em velocidade mais confortável e maior em velocidades lentas e/ou rápidas.</p>
	<p><i>Grupo CT:</i> N = 14 Sexo: 8 F e 6M IM±DP: 29,9±8,45 AM±DP: 1,69±0,10 PM±DP: 63,94±10,6</p>		
VAN DEN HOORN, W. et al. (2012)	<p><i>Grupo LB:</i> N = 13 Sexo: 8 F e 5M IM±DP: 35,3±12,4 AM±DP: 1,75±0,13 PM±DP: 72,3±13,4 Tempo médio de lesão: <i>Grupo CT:</i> N = 12 Sexo: 8 F e 4M IM±DP: 32,2±13,1 AM±DP: 1,72±0,10 PM±DP: 75,3±11,2</p>	<p>1) Tempo e comprimento da passada 2) Velocidade da marcha 3) Rotação dos segmentos</p>	<p>Velocidade: grupo LB apresenta menor velocidade. Tempo de passada: não diferiu. Rotações absolutas: não diferiram entre os grupos. Rotações residuais: grupo LB exibiu menor rotação pélvica com aumento da velocidade;</p>
MULLER Roy et al. (2015)	<p><i>Grupo LB:</i> N = 11 Sexo: 6F e 5 M IM±DP: 38,2±13,9 AM±DP: 1,71±0,59 PM±DP: 68,5±12,5 Tempo médio de lesão:</p> <p><i>Grupo CT:</i> N = 11 Sexo: 6 F e 5M IM±DP: 38,5±12,1 AM±DP: 1,69±0,27 PM±DP: 67,6±11,6</p>	<p>1) Velocidade da caminhada; 2) comprimento do passo; 3) ADM de rotação do tronco e pelve durante marcha e corrida 4) Força de reação do solo</p>	<p>Velocidade: grupo LB exibiu menor velocidade em terreno plano e irregular; Comprimento do passo: não se alterou; Amplitude de Movimento: menor rotação da pelve; não houve diferença nas rotações do tórax e tronco; maior inclinação do tronco no impacto.</p>
CROSBIE et al. (2014)	<p><i>Grupo LB:</i> N = 19 Sexo: 12 F e 7 M IM±DP: 34±13,3 AM±DP: 1,70±11,5 PM±DP: 71,5±15 Tempo médio de lesão: 6 anos (3 meses a 12 anos)</p> <p><i>Grupo CT:</i> N = 13 Sexo: 13 F e 6 M</p>	<p>1) Amplitude de movimento 2) Padrões de movimento 3) Coordenação de movimento entre os segmentos</p>	<p>Amplitude de movimento: grupo LB exibiu menor ADM de flexão lateral pélvica com aumento da velocidade. Padrões de movimento: grupo LB apresentou menor flexão lateral torácica inferior e rotação axial em ambas as velocidades; maior rotação axial em apoio</p>

	IM±DP: 28,6±5,4 AM±DP: 1,70±9 PM±DP: 67±11		médio; menor flexão lateral pélvica e flexão de quadril.
Voght L et al. (2001)	<i>Grupo LB</i> : N = 34 Sexo: 13 F e 21 M IM±DP: 28-51 AM±DP: 1,55-1,92 PM±DP: 52-114 Tempo médio de lesão: um ano	1) Velocidade de caminhada 2) Padrões de movimento 3) Variabilidade de movimento	Velocidade de caminhada significativamente menor. Maior variabilidade de movimento da coluna lombar superior nos planos frontal, sagital e transversal.
	<i>Grupo CT</i> : N = 22 Sexo: 6 F e 16 M IM±DP: 27-34 AM±DP: 1,56-1,94 PM±DP: 55-84		Maior variação para os três padrões de movimento de rotação pélvica,

Legenda: AM – altura média; ADM – amplitude de movimento; CT – controle; DP – desvio padrão; IM – idade média; F – feminino; LB – lombalgia; M – masculino; N – tamanho da amostra; PM – peso médio;

Tabela 2. Avaliação dos riscos de viés nos estudos incluídos

Avaliação dos domínios de qualidade dos estudos		Percentual de estudos que marcaram “sim” para esses domínios
Viés de Seleção		
1.	A população do estudo foi descrita adequadamente?	70%
2.	Ambos os grupos foram selecionados da mesma população?	80%
3.	Ambos os grupos foram comparáveis para idade, sexo, IMC/peso?	70%
4.	A intensidade da dor e/ou limitação da atividade foi descrita para ambos os grupos?	90%
5.	Apresentou tentativas de definição das características da lombalgia?	90%
Viés de medida e resultados		
6.	As descrições dos métodos possibilitam que os procedimentos de medida sejam replicados em outros estudos?	80%
7.	Os instrumentos de medida foram descritos adequadamente?	80%
8.	Havia um sistema de padronização das instruções dos movimentos avaliados?	90%
9.	Os avaliadores foram treinados quanto a padronização dos procedimentos de medida utilizados?	60%
11.	Os avaliadores foram cegados quanto ao grupo que os indivíduos estavam?	0%
12.	O mesmo procedimento foi aplicado para aqueles com ou sem lombalgia?	100%
Apresentação dos dados		
13.	Foram relatadas comparações estatísticas entre os grupos em pelo menos um resultado-chave?	100%

Avaliação da qualidade dos estudos

A tabela 2 lista os domínios identificados como fontes potenciais de viés nos estudos incluídos e o cumprimento percentual com cada item. Foi utilizada uma ferramenta de avaliação da qualidade dos estudos, baseada em uma revisão semelhante (MIERITZ *et al.*, 2012) em que o autor utilizou como referência a ferramenta de avaliação de risco de viés do Cochrane Handbook (versão 5.1.0), que determina como cada estudo foi responsável por fontes de erros e se estes estudos forneceram detalhes sobre estes erros. A partir da análise desta tabela, foi possível identificar que a maioria dos estudos controlaram os domínios relacionados ao viés de seleção e de apresentação dos dados. Entretanto, a maior limitação metodológica destes estudos refere-se ao controle do processo de avaliação, sendo que 60% dos estudos relataram treinamento prévio dos avaliadores em relação aos procedimentos e em nenhum estudo houve cegamento dos avaliadores em relação aos grupos.

Análise dos resultados

A fim de melhor explorar a relação entre os resultados dos estudos, as variáveis biomecânicas analisadas foram divididas nas seguintes categorias: Velocidade de caminhada, Tempo e comprimento do passo, variáveis cinemáticas da pelve e do tronco, padrões de coordenação, e atividade muscular dos eretores da espinha.

Velocidade de caminhada

Em todos os estudos que avaliaram velocidade de caminhada confortável, observaram que indivíduos com lombalgia apresentam velocidade diminuída em relação ao grupo controle.

Tempo e comprimento do passo

Não foram observadas diferenças significativas no tempo e comprimento de passo entre os grupos com e sem lombalgia.

Variáveis cinemáticas da pelve e do tronco

Os estudos não foram muito consistentes em relação à análise de amplitude de movimento das rotações de tronco e pelve nos três planos de movimento. Na maioria, o grupo com lombalgia

não exibiu diferenças significativas de amplitude de movimento de rotação do tronco como segmento individual. Entretanto, alguns (MULLER *et al.*, 2015; LAMOTH *et al.*, 2006a; LAMOTH *et al.*, 2006b; VAN DER HOORN *et al.*, 2011) identificaram menor amplitude de movimento rotação pélvica no plano frontal com o aumento da velocidade de caminhada. Crosbie *et al.* (2013) encontraram maior rotação axial do tronco durante a velocidade de caminhada confortável. Lamoth (2002a; 2006a) encontrou, em dois estudos seus, porém com amostras e análises diferentes, que o grupo com lombalgia exibe grau de acoplamento tóraco-pélvico menor com o aumento da velocidade de caminhada. O acoplamento é definido como o movimento em que a rotação de um corpo em torno de um eixo está consistentemente associado à rotação simultânea sobre outro eixo. No caso da coluna vertebral, a rotação axial está associada à flexão lateral do tronco. Este resultado, portanto indica que indivíduos com lombalgia tem problemas em ajustar a relação de fase devido a menor capacidade de liberar este acoplamento, e assim, estabelecer uma coordenação mais *out phase* identificada pelo bloqueio rígido de rotações do tronco e pelve observados nos estudos.

Padrões de Coordenação in phase e out phase

Seis estudos (LAMOTH *et al.*, 2002a; SEAY *et al.* 2011a; SELLES *et al.*, 2001; SEAY *et al.*, 2011b; LAMOTH *et al.*, 2006a; LAMOTH *et al.*, 2006b) analisaram os padrões de coordenação dos indivíduos com e sem lombalgia durante as diferentes velocidades de caminhada. Em todos foi observado que, com o aumento da velocidade de caminhada, os indivíduos do grupo controle tendiam a mudar gradualmente de um padrão de coordenação *in phase* para um padrão de coordenação *out phase*. Porém, esta mudança não era observada nos indivíduos com lombalgia, que tendiam a permanecer com um padrão *in phase* mesmo com as mudanças na velocidade. Esta contra-rotação transversal induzida pela velocidade é importante para o aumento do comprimento do passo, muitas vezes definido na literatura como “passo pélvico”, o qual contribui para o impulso angular total do corpo durante a locomoção, mecanismo no qual é falho em uma variedade de patologias do aparelho locomotor, dentre estas a dor lombar. Consequentemente, os indivíduos tem incapacidade de ajustar a mecânica da marcha pélvica, assumindo um padrão mais rígido e lento.

Atividade muscular dos paraespinhais

Nos grupos com lombalgia, atividade dos eretores da espinha foi maior em relação ao grupo controle na maioria das velocidades mais baixas, sendo que o pico de atividade muscular ocorreu precocemente, bem como, houve um aumento desta atividade muscular em

velocidades mais altas de caminhada. Estes resultados sugerem um controle inadequado da atividade desta musculatura durante a marcha em indivíduos com lombalgia.

Risco de viés através dos estudos

Apesar dos estudos serem semelhantes no que se refere à avaliação da relação entre lombalgia e alterações nos padrões da pelve e do tronco durante a marcha, existem alguns pontos que os diferem e podem interferir sobre comparação entre eles. Um desses pontos observados foi que nem todos os estudos analisaram todos os planos de movimento, havendo alguns (LAMOTH *et al.*, 2002a; VAN DER HOORN, 2012; SELLES *et al.*, 2001) cujo foco maior era o plano transversal, por ser aquele onde ocorre o importante movimento de rotação axial da pelve, considerado responsável pela força motriz da locomoção. Além disso, na seleção dos participantes para o estudo, os grupos com lombalgia não deram homogêneos em relação à intensidade da dor e à incapacidade funcional relacionada a esta queixa, havendo um estudo em que os indivíduos estavam afastados do trabalho por causa da lombalgia (SELLES *et al.*, 2001). Entretanto, todos os estudos foram consistentes em selecionar apenas indivíduos que fossem capazes de caminhar em diferentes velocidades. O último aspecto divergente encontrado entre os estudos foi os métodos de análise utilizados pelos autores, havendo aqueles que optaram pela análise de coordenação através da Fase Relativa Contínua (LAMOTH *et al.*, 2002a; 2006a e 2006b; SEAY *et al.*, 2011b; SELLES *et al.*, 2001) e somente um que optou por um método de codificação do vetor (SEAY *et al.*, 2011a). Ambos os métodos são capazes de avaliar a variabilidade de coordenação e estimar os padrões de movimento relativo entre os segmentos de interesse. A Fase relativa contínua (FRC) utiliza a análise de velocidade-ângulo na qual as coordenadas cartesianas (x,y) referentes a cada ponto da curva são transformadas em coordenadas polares. A fase polar de cada ponto da curva é usada para calcular a interação dinâmica entre os dois segmentos, de forma que a variável de interesse é a diferença de fase de um segmento distal em relação ao imediatamente proximal. Assim, os valores próximos de 0 indicam que os segmentos se movem na mesma direção (coordenação in phase), enquanto os valores próximos de 180 indicam que estão se movendo em direções opostas (out of phase) (CHANG *et al.*, 2008; LAMOTH *et al.*, 2006a, WINSTEIN *et al.*, 1989). Já o método de codificação de vetor quantifica as mudanças no ângulo de diagramas de codificação. É definido um ângulo de acoplamento obtido através do vetor entre dois pontos consecutivos no gráfico (x,y) dos segmentos e a horizontal à direita.

Como os ângulos obtidos tem distribuição polar (0 a 360°), a média dos valores é obtida para representação da verdadeira orientação dos vetores. Os ângulos resultantes variam entre 0 e 180, e indicam que os segmentos estão se movendo in phase e out of phase, respectivamente (ROBERTSON *et al.*, 2014, CHANG *et al.*, 2008, SEAY *et al.*, 2011a).

DISCUSSÃO

Este estudo propôs revisar sistematicamente artigos que avaliaram os aspectos biomecânicos relacionados à coordenação do tórax e da pelve durante a caminhada em diferentes velocidades de indivíduos com e sem lombalgia crônica. Foi constatado que a coordenação do complexo tóraco-pélvico na marcha de indivíduos com dor lombar é um tema pouco explorado no contexto científico. Embora existam variações em relação aos estudos, foi possível observar que em média, as pessoas com lombalgia demonstram menor velocidade de caminhada, menor amplitude de rotação pélvica, menor grau de acoplamento tóraco-pélvico e maior pico de atividade dos paraespinhais em comparação a indivíduos saudáveis.

Sumário de evidências

A marcha é composta por padrões de coordenação muito consistentes, de fases específicas e relações de frequências entre os movimentos cíclicos de membros, pelve, tronco e cabeça. Na marcha ideal, essas interações ou acoplamentos são relativamente estáveis, e capazes de se adaptar às mudanças, como por exemplo, relacionadas à velocidade da caminhada (LAMOTH *et al.*, 2002b e 2006b; BEEK *et al.*, 1995; YAMASAKI *et al.*, 2003; DONKER *et al.*, 2001). A coordenação entre o tronco e a pelve, bem como a atividade muscular do tronco, tem provado serem medidas uteis de se avaliar na marcha humana (LAMOTH *et al.*, 2006b) para diferenciar indivíduos com e sem lombalgia.

Em todos os estudos foi constatado que indivíduos com lombalgia crônica, em média, adotam uma velocidade de caminhada mais lenta quando solicitado a caminhar em sua velocidade habitual. Tem sido sugerido que a adoção de uma marcha mais lenta possa ser uma reação ao processo doloroso ou comportamento de medo, restringindo assim os movimentos (AHERN *et al.*, 1988; VLAYEN *et al.*, 2000; WATSON *et al.*, 2010). Outros estudos (LAMOTH *et al.*, 2006a) sugeriram que os indivíduos com dor lombar apresentem dificuldade de controlar adequadamente os seus movimentos, especialmente frente às perturbações, sendo que se adaptam com a redução da velocidade do movimento para permitir maior controle. Apesar dessas hipóteses, ainda não está claro se essa adaptação seja um efeito direto da lombalgia ou a origem deste sintoma.

Essa segunda hipótese, porém, pode estar relacionada com os achados dos estudos de LAMOTH *et al.*, 2002a, 2006a e 2006b; SELLES *et al.*, 2001; SEAY *et al.*, 2011a e 2011b, que constataram que em indivíduos saudáveis, a coordenação *in phase* (rotações sincrônicas no mesmo sentido) foi apresentada somente em velocidades mais baixas de caminhada, e com o aumento desta, a coordenação no plano transversal evoluiu gradualmente para uma coordenação mais *out-of-phase* (rotações sincrônicas em sentidos opostos). Entretanto, essa mudança não foi observada nos indivíduos com lombalgia. Nestes, a coordenação manteve-se *in phase* em todas as velocidades de caminhada. Sendo assim, tendem a mover a coluna lombar e os segmentos pélvicos como unidade rígida. Essa rotação em sentido contrários desses segmentos é considerada um fator importante para controlar o momentum angular do corpo em torno do eixo longitudinal (GRACOVETSKY S. A, 1985). Foi sugerido que os indivíduos com lombalgia mantêm esse padrão de coordenação mais rígido para evitar grandes ou rápidas rotações da coluna vertebral (WU *et al.*, 2008). Segundo Collins (2009), a rotação do tórax está envolvida com o movimento oscilante do membro superior na marcha, movimento do qual também contribui no contrabalanceamento do momentum angular total do corpo devido a sua maior distância do centro de massa (em relação à pelve) e consequente capacidade produzir maior torque (BRUIJIN *et al.*, 2008). Sendo assim, esse padrão alterado da coordenação em que o membro superior segue a temporização mais *in phase* do tórax, pode resultar em aumento do consumo de energia, tornando o sistema menos eficiente (COLLINS *et al.*, 2009).

Outra alteração observada em indivíduos com lombalgia crônica, descritas pelos autores (MULLER *et al.*, 2015; LAMOTH *et al.*, 2006a e 2006b; VAN DER HOORN *et al.*, 2012), foi em relação à amplitude de rotação pélvica. Estes estudos apontaram que durante o aumento da velocidade da marcha, pessoas com dor lombar apresentam alterações na amplitude de rotação pélvica durante a marcha, apontadas como menor amplitude em relação aos controles. Tem sido relatado que movimentos alterados da região lombo-pélvica, comumente presentes em indivíduos com lombalgia, podem estar relacionados de forma direta com os movimentos do tronco e ainda podem contribuir com recorrência da dor lombar (AL-EISA *et al.*, 2006). O estudo de Taylor *et al.*, 2003 aponta que pessoas com dor lombar têm dificuldade em aumentar as rotações do tórax no plano transversal com o aumento da velocidade da marcha, e relacionam esse achado com a limitação nos movimentos da pelve e quadril como forma de minimizar o stress sobre as estruturas sensíveis à dor da coluna lombar. É possível que o movimento de rotação recíproca da pelve e tórax tenha o papel de controlar o aumento da velocidade de caminhada, podendo reduzir o movimento de rotação

do corpo e proporcionar um efeito de amortecimento sobre o movimento da pelve. Crosbie *et al.* (2013), que avaliaram os movimentos de MMII e pelve durante rotação axial do tronco em indivíduos com ou sem dor lombar, também observaram menor rotação pélvica nos participantes com lombalgia, levantando a hipótese de que exista uma falta de flexibilidade da extremidade inferior nesses indivíduos resultando em uma coluna mais rígida, podendo ser uma compensação postural para evitar a recorrência da dor.

Concomitante a esta alteração no movimento pélvico, estes mesmos autores avaliaram as rotações da coluna torácica inferior e lombar nas diferentes velocidades de caminhada, e encontraram maior rotação do tronco em velocidades auto-selecionadas. Este aumento da variabilidade do tronco no plano frontal pode sugerir um esforço adotado por estes indivíduos para controlar de forma ativa e assim manter a estabilidade global da marcha na ausência de coordenação *out phase* com velocidades maiores de caminhada.

Perturbações na estabilidade da coluna podem ser devido a mudanças nas estruturas da coluna, controle inadequado sobre os músculos do tronco, mudanças na propriocepção e controle neural reduzido (LAMOTH *et al.*, 2006b; PANJABI *et al.*, 1992a). Da mesma forma, a estabilidade pode ser recuperada através de mudanças na atividade muscular, porém essas modificações podem resultar em microtraumas e consequente dor crônica, bem como alterações na entrada sensorial, ampliando a instabilidade e reduzindo a capacidade de lidar com perturbações (VAN DIEEN *et al.*, 2003). Uma alteração na atividade muscular observada nos estudos incluídos dessa revisão (LAMOTH *et al.* 2006a; LAMOTH *et al.*, 2006b; VAN DER HOORN *et al.*, 2012) refere-se ao aumento na atividade dos eretores da espinha, durante a fase de balanço da marcha de indivíduos com lombalgia, sendo que, nesta fase específica essa musculatura normalmente é pouco ativa (ARENDDT-NIELSEN *et al.*, 1996). Este achado também foi relatado em outros estudos (ARENDDT-NIELSEN *et al.*, 1996; HIDES *et al.*, 1994; PANJABI *et al.*, 1992a e 1992b VAN DIEEN *et al.*, 2003). Possivelmente, essa mudança na atividade muscular seja uma tentativa de estabilizar a coluna vertebral em face de perturbações, através do aumento da rigidez muscular (LAMOTH *et al.*, 2006b), bem como supõe-se que esse recrutamento alterado seja uma adaptação funcional frente à estabilidade reduzida da coluna de indivíduos com dor lombar (VAN DIEEN *et al.*, 2003a). Alguns autores sugeriram que a menor capacidade de responder a perturbações do equilíbrio de tronco em atividade funcionais possa estar relacionada ao comprometimento proprioceptivo nos indivíduos que apresentam queixas recorrentes. (VAN DIEEN *et al.*, 2003b; ARENDDT-NIELSEN *et al.*, 1996; CHOLEWIKI *et al.*, 2002). Entretanto, Hides *et al.*. (1994)

propuseram como explicação alternativa que o aumento da atividade seja necessária para compensar a perda seletiva de massa muscular em indivíduos com dor lombar. Esta alteração é comumente observada em casos de lombalgia crônica devido à tendência dos indivíduos evitarem atividades que exijam contração desta musculatura por medo de gerar dor, levando à fraqueza muscular e consequente hipotrofia por desuso (HIDES *et al.*, 1994; VAN DIEEN *et al.*, 2003; TENÓRIO e VIEIRA, 2012). Apesar das possíveis explicações levantadas, nenhuma destas hipóteses conseguiu comprovar os mecanismos causais relacionados a tais alterações. Arendt-Nielsen (1996), que avaliou a influência da dor lombar na atividade muscular durante a marcha, comparou a atividade eletromiográfica dos músculos paravertebrais em indivíduos com dor lombar crônica e voluntários expostos à dor lombar induzida por solução salina. Em ambos os grupos, foi observada maior ativação muscular dos paraespinhais durante a fase de balanço da marcha, período do ciclo da marcha no qual estes músculos exercem atividade mínima. Este autor sugere que a dor musculoesquelética modula o desempenho motor durante a marcha, possivelmente por vias reflexas, apontando que essa mudança não seja uma ação voluntária, mas uma interação direta entre aferentes nociceptivos e excitabilidade de neurônios motores, mediada por uma via reflexa.

Apesar do recrutamento muscular ser considerado uma estratégia para evitar movimentos não planejados do tronco que podem ser percebidos como prejudiciais (VAN DIEEN *et al.*, 2003), algumas consequências negativas também podem ocorrer. O aumento da atividade, relacionado com o aumento da co-contratação, pode causar dor nestes músculos (VAN DIEEN *et al.*, 2003), contribuindo para o círculo vicioso de “dor-espasmo-dor” (ROLAND, 1986; TRAVEL *et al.*, 1942). Além disso, a maior co-contratação pode aumentar ainda mais as forças agindo sobre a coluna (VAN DIEEN, 1999) e conduzir a forças de compressão mais altas da coluna lombar, podendo resultar em dor (VAN DER HULST *et al.*, 2010). Somado a isso, é possível que os padrões de movimento adotados na presença de dor lombar não sejam ideais, em longo prazo (HODGER e TUCKER, 2011), pois maior rigidez de tronco pode ser menos eficiente durante a marcha (GRIBBLE *et al.*, 2003). Alguns autores correlacionam essa estratégia com o padrão de coordenação tóraco-pélvico mais rígido como estratégia protetora desses indivíduos, sendo uma forma provável de evitar movimentos que acarretem dor, ou para compensar alterações osteo-ligamentares da coluna (PANJABI *et al.*, 2002), ou mesmo para impedir o agravamento e recidiva da dor (VAN DIEEN *et al.*, 2003).

Limitações

Uma das limitações encontradas foi o fato da maioria dos estudos terem sido feitos pelos mesmos grupos de pesquisa (LAMOTH; SEAY). Isso pode ter levado a vieses na interpretação dos resultados. Apesar dessa limitação, o processamento dos dados biomecânicos relacionado às estratégias de coordenação foi por meio de diferentes técnicas, como Fase Relativa contínua (FRC), método de codificação por vetores, análise dos componentes principais, eletromiografia e sistema de registro de movimentos através de marcadores ativos, sendo que através destas os estudos em geral obtiveram resultados semelhantes, os quais permitiram a conclusão de que existem alterações no padrão de marcha dos indivíduos com lombalgia em comparação aos saudáveis.

CONCLUSÃO

O papel desta revisão sistemática foi identificar as diferenças biomecânicas encontradas em pessoas com e sem dor na lombar, e as implicações desta para o próprio indivíduo e para a elaboração de estratégias de avaliação e tratamento fisioterápicas. Os estudos apontaram que a coordenação do movimento entre o tronco e a pelve, principalmente no plano transversal, eram mais rígidas e menos variáveis do que os controles saudáveis, particularmente em velocidades maiores de caminhada. Estas alterações de coordenação, em média, foram acompanhadas de mudanças na amplitude de rotação pélvica. Os autores, em sua maioria, sugeriram que estes parâmetros podem estar relacionados à redução da capacidade de contrariar a rotação da pelve em relação ao tronco, identificada ao observar que os indivíduos com lombalgia demonstraram padrão de coordenação mais *in phase* mesmo em aumentos da velocidade de caminhada. A diminuição da variabilidade de coordenação identificada nos estudos pode contribuir para uma crescente abordagem na literatura que sugere que esta redução de variabilidade durante certas tarefas possam ser indicativos de disfunções. Associados a estas alterações, também foram observados maior atividade dos músculos eretores da espinha, sugerindo que os indivíduos com dor lombar crônica não específica adotam uma estratégia de movimento de proteção, possivelmente baseado no aumento da rigidez do tronco. Estes achados podem ser indicativos de alterações cinemáticas adaptativas identificadas em pessoas com histórico de dor lombar, e não somente uma resposta motora à dor aguda.

Em poucas palavras, quando considerados coletivamente, os estudos revelaram que, em média, pessoas com lombalgia demonstram menor velocidade de caminhada confortável e máxima, menor amplitude de rotação pélvica bem como, um padrão de coordenação *in phase*, menor grau de acoplamento tóraco-pélvico e maior pico de atividade dos paraespinhais em comparação a indivíduos saudáveis. Os dados encontrados em avaliações dos padrões de marcha, em termos de coordenação, fornecem uma visão sobre déficits de desempenho e do risco de uma possível recidiva da dor. Desta maneira, o tratamento fisioterapêutico deve incluir técnicas destinadas a promover adequada coordenação do tronco-pelve, controle muscular e postural, treino de marcha em diferentes velocidades, com o objetivo de melhorar a estabilidade durante a marcha, as respostas de equilíbrio frente às perturbações ou ao aumento da velocidade da caminhada e, em resumo, a capacidade funcional do indivíduo.

REFERÊNCIAS

AHERN DK, *et al.* Comparison of chronic low back pain patients and non-patient controls. **Pain**. v.34, p.153–160, 1988.

AL-EISA, Einas *et al.* Effects of pelvic skeletal asymmetry on trunk movement: three-dimensional analysis in healthy individuals versus patients with mechanical low back pain. **Spine**. v.31, n.3, p.E71-E79. February, 2006.

ARENDRT-NIELSEN L, *et al.* The influence of low back pain on muscle activity and coordination during gait: a clinical and experimental study. **Pain** v.64, n.2, p.231–40. February, 1996.

BEEK PJ.; PEPPER CE.; STEGEMAN D. Dynamical models of movement coordination. **Hum Mov Sci**, v.14, n.4-5, p.573–608. November, 1995.

BRUIJIN SM., *et al.* Coordination of leg swing, thorax rotations, and pelvis rotations during gait: the organization of total body angular momentum. **Gait and Posture**. v. 27, n.3, p.455-62. April, 2008.

COLLINS SH., ADAMCZYK KG., KUO AD. Dynamic arm swinging in human walking. **Proc Biol Sci**. v.276, n.1673, p.3679–3688. October, 2009.

CROSBIE Jack, *et al.* Coordination of Spinal Motion in the transverse and frontal planes during walking in people with and without recurrent low back pain. **Spine**. v.38, n.5, p.E286–E292. March, 2013.

CHOLEWICKI J., VANVLIET J.J. Relative contribution of trunk muscles to the stability of the lumbar spine during isometric exertions **Clinical Biomechanics**. v.17, n.2, p. 99–105 February, 2002.

CHOU R, *et al.* Diagnosis and Treatment of Low Back Pain: A Joint Clinical Practice Guideline from the American College of Physicians and the American Pain Society. **Ann Intern Med**. v.147, n.7, p.478-491. October, 2007.

DONKER SF, *et al.* Coordination between arm and leg movements during locomotion. **J Motor Behav**. v.33, n.1, p.86–102. March, 2001.

GRACOVETSKY S. A hypothesis for the role of the spine in human locomotion: a challenge to current thinking. **J Biomed Eng.** v.7, n.3, p.205–16. July, 1985.

HIDES JA, *et al.* Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. **Spine.** v.19, n.2, p.165–72. January, 1994.

LAMOTH Claudine J.C, *et al.* Effects of chronic low back pain on trunk coordination and back muscle activity during walking: changes in motor control. **Eur Spine J.** v.15, n.1, p.23–40. January, 2006a.

LAMOTH, CJC; DAFFERTSHOFER, Andreas; *et al.* How do persons with chronic low back pain speed up and slow down? Trunk-pelvis coordination and lumbar erector spine activity during gait. **Gait Posture.** v.23, n.2, p.230–239. February, 2002b.

LAMOTH CJC, *et al.* Pelvis thorax coordination in the transverse plane during walking in persons with nonspecific low back pain. **Spine.** v.27, n.4, p.E92–9. February, 2002a.

LAMOTH CJC, BEEK PJ, MEIJER OG. Pelvis-thorax coordination in the transverse plane during gait. **Gait and Posture.** v.16, n.2, p.101–114. October, 2002b.

MOHER David, SHAMSEER Larissa , CLARKE Mike *et al.* Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic Reviews.** v.4, n.1, p.1. January, 2015.

MÜLLER, R; ERTELT, T., BLICKHAN, R. Low back pain affects trunk as well as lower limb movements during walking and running. **Journal Of Biomechanics.** v.48, n.6, p.1009–14.. April, 2015.

PANJABI MM. The stabilizing system of the spine: Part II. Neutral zone and instability hypothesis. **J Spinal Disord.** v.5, n.4, p.390–7. December, 1992.

PANJABI MM. The stabilizing system of the spine: Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. **J Spinal Disord.** v.5, n.4, p.383–9. December, 1992.

ROLAND MO. A critical review of the evidence for a pain–spasm–pain cycle in spinal disorders. **Clin Biomech.** v.1, n.2, p.102–9. May, 1986.

SANTOS, Fernanda Gangella dos. **Avaliação da estabilidade lombo pélvica de pacientes lombálgicos**. 2011. 50 f. Movimento, Postura e Ação Humana. Tese (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina da USP, São Paulo, 2011.

SEAY, Joseph F., Richard EA, EMMERIK Van, and HAMILL Joseph. Influence of low back pain status on pelvis-trunk coordination during walking and running. **Spine**. v.36, n.16, p.E1070-E1079. July, 2011a.

SEAY, Joseph F.; VAN EMMERIK, Richard EA; HAMILL, Joseph. Low back pain status affects pelvis-trunk coordination and variability during walking and running. **Clin Biomech**. v.26, n.6, p.572-578. July, 2011b.

SELLES, Ruud W, *et al.* Disorders in trunk rotation during walking in patients with low back pain: A dynamical systems approach. **Clin Biomech**. v.16, n.3, p.175–81. March, 2001.

SILVA, Paula L. P. **Fatores Biomecânicos e dinâmica da coordenação entre tronco e pelve na marcha**: implicações para reabilitação da dor lombar. 2011. Tese (Doutorado) – University of Connecticut, 2011.

STOKES VP, ANDERSON CA, FORSSBERG H. Rotational and translational movement features of the pelvis and thorax during adult human locomotion. **Journal of Biomechanics**. v.22, n.1, p.43-50. May, 1989

SWINKELS-MEEWISSE EJ, *et al.* Psychometric properties of the Tampa Scale for kinesiophobia and the fear-avoidance beliefs questionnaire in acute low back pain. **Manual Therapy**. v.8, n.1, p.29-36. February, 2003.

VAN DEN HOORN, W. *et al.* Mechanical coupling between transverse plane pelvis and thorax rotations during gait is higher in people with low back pain. **Journal of biomechanics**. v.45, n.2, p.342-347. January, 2012.

VAN EMMERIK, REA, WAGENAAR RC. Effects of walking velocity on relative phase dynamics in the trunk in humans. **Journal of Biomechanics**. v.29, n.9, p.1175-1184. September, 1996.

VAN DIEEN JH, CHOLEWICKI J, RADEBOLD A. Trunk muscle recruitment patterns in low back pain patients enhance the stability of the lumbar spine. **Spine**. v.28, n.8, p.834–41. April, 2003a.

VAN DIEEN JH, SELEN LP, CHOLEWICKI J. Trunk muscle activation in lowback pain patients, an analysis of the literature. **J Electromyogr Kinesiol** . v.13, n.4, p.333–51. August, 2003b.

VAN DIEEN JH, LOOZE MP. Sensitivity of single-equivalent trunk extensor muscle models to anatomical and functional assumptions. **J Biomech**. v.32, n.2, p.195–8. February, 1999.

VLAEYEN JWS, LINTON SJ. Fear-avoidance and its consequences in chronic musculoskeletal pain: a state of the art. **Pain**. v.85, n.3, p.317–332. April, 2000.

VOGT L, *et al.*. Neuromuscular control of walking with chronic low-back pain. **Manual Therapy**. v.8, n.1, p.21-28. February, 2003.

WATSON P, BOOKER C, MAIN CJ. Evidence for the role of psychological factors in abnormal paraspinal activity in patients with chronic low back pain (CLBP). **J Musculoskel Med**. v.5, n.4, p.41–56. January, 2010.

WINSTEIN C.J, GARFINKEL A. Qualitative dynamics of disordered human locomotion: a preliminary investigation. **J Mot Behav**. v.21, n.4, p.373-91. December, 1989.

WU W.H *et al.*. Gait in pregnancy-related pelvic girdle pain: amplitudes, timing, and coordination of horizontal trunk rotations. **Eur Spine J**. v.17, n.9, p.1160–1169. July, 2008.

YAMASAKI Taiga, NOMURA Taishin, SATO Shunsuke. Phase reset and dynamic stability during human gait. **Biosystems**. v.71, n.1-2, p.221–32. September, 2003.

TENÓRIO, Miss Yara Larissa Cavalcante; VIEIRA, Luiz Carlos Rabelo. Aspectos associados à lombalgia – Revisão da Literatura. **Revista Digital**. Buenos Aires v.17, p.173. October, 2012.