

Pedro Henrique Moreira Netto

**RELAÇÃO ENTRE ALTERAÇÕES NA CINEMÁTICA DA
ARTICULAÇÃO SUBTALAR E LESÕES NA CADEIA
CINÉTICA PROXIMAL: *uma revisão da literatura***

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG
2011

Pedro Henrique Moreira Netto

**RELAÇÃO ENTRE ALTERAÇÕES NA CINEMÁTICA DA
ARTICULAÇÃO SUBTALAR E LESÕES NA CADEIA
CINÉTICA PROXIMAL: *uma revisão da literatura***

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Ortopedia e Traumatologia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial a obtenção do título de Especialista em Ortopedia e Traumatologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Lanna Pereira da Silva.

M838r Moreira Netto, Pedro Henrique
2011 Relação entre alterações na cinemática da articulação subtalar e lesões na cadeia cinética proximal: uma revisão da literatura. [manuscrito] / Pedro Henrique Moreira Netto – 2011.
34 f., enc.:il.

Orientadora: Paula Lanna Pereira da Silva

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Bibliografia: f. 26-29

1. Dor lombar. 2. Pés. 3. Pronação. 4. Quadris. 5. Joelhos. I. Silva, Paula Lanna Pereira da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 612.76

Ficha catalográfica elaborada pela equipe de bibliotecários da Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Estudos relacionados a lesões de joelho.....	30
TABELA 2 – Estudos relacionados a lesões na perna.....	32
TABELA 3 – Estudos relacionados a Dor Lombar Crônica.....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1	Tipo de Estudo.....	11
2.2	Tipo de Participantes.....	12
3	RESULTADOS.....	13
3.1	Estratégia de busca.....	13
3.2	Estudos relacionados a lesões do joelho.....	14
3.3	Estudos relacionados a lesões na perna.....	16
3.4	Estudos relacionados a Dor Lombar Crônica.....	17
4	DISCUSSÃO.....	18
5	CONCLUSÃO.....	25
	REFERÊNCIAS.....	26

RESUMO

Os movimentos de pronação e supinação da subtalar são determinantes durante a marcha para a absorção de choques e alavancagem, respectivamente, e devem ocorrer nos momentos adequados e com magnitudes adequadas. A relação entre pronação e supinação do pé e rotações dos membros inferiores, tanto na postura estática quanto na marcha, tem sido proposta e suportada por argumentos biomecânicos. Devido a estas inter-relações entre a cinemática da subtalar e do membro inferior, a ocorrência de hiperpronação ou hipopronação pode favorecer o desenvolvimento de lesões na tíbia, joelho, articulações sacro-íliaca e púbica, além de sobrecarregar a coluna vertebral. No entanto, tal argumento requer suporte de estudos que diretamente demonstrem essa relação. Diante disso, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura para investigar a correlação entre alterações na cinemática da subtalar e a ocorrência de lesões em articulações da cadeia cinética proximal (coluna lombar, sacroilíaca, quadril, joelho e fratura por *stress* de tíbia). Foi realizada uma busca nas bases de dados eletrônicas (PubMed, ScienceDirect, Google Acadêmico e SciELO), incluindo os artigos publicados até 2010, cruzando-se os descritores *pronation*, *foot pronation* e *subtalar pronation*, separadamente com os descritores *low back pain*, *lumbopelvic pain*, *spinal pain*, *hip pain*, *anterior knee pain*, *patellofemoral pain syndrome*, *shin splints*, *stress fracture*. A partir da análise dos resumos e leitura integral dos artigos pré-selecionados foram incluídos dez artigos observacionais exploratórios (transversal, caso-controle e coorte), sendo seis artigos relacionados a alterações na articulação subtalar e lesões na articulação do joelho, três com lesões da perna e um com dor lombar crônica. Os resultados sugerem que alterações cinemáticas da articulação subtalar na postura estática, em atividades funcionais (marcha e descida de degraus) e durante atividades esportivas (corrida e aterrissagem de saltos), podem estar relacionadas a lesões na cadeia cinética proximal. Apesar do número reduzido de estudos encontrados, foi possível observar que lesões na tíbia, fêmur, joelho e coluna lombar estavam correlacionadas com a presença de hiperpronação ou hipopronação do pé, o que destaca a necessidade de avaliação da cinemática do pé e a subsequente intervenção quando estas disfunções estiverem relacionadas com lesões na cadeia cinética proximal.

Palavras-chave: Pronação. Pronação do pé. Pronação subtalar. Dor lombar. Dor lombopélvica. Dor na coluna. Dor no quadril. Dor anterior no joelho. Síndrome dor patelo femoral. Síndrome do stress tibial medial.

ABSTRACT

The movements of pronation and supination of the subtalar joint during gait are crucial for absorbing shocks and leverage, respectively, and should occur at the appropriate times and with appropriate magnitude. The relation between pronation and supination of the foot and lower limb rotation in both static posture and gait has been proposed and supported by biomechanical arguments. Due to these inter-relations between the kinematics of the subtalar joint and leg, the occurrence of foot hiperpronation or hipopronation can promote the development of lesions in the tibia, knee, sacroiliac joints pubis, and generate excessive loading in the spine. However, this argument requires support from studies that directly show the relations. Therefore, the objective of this study was to conduct a literature review to investigate the correlation between changes in kinematics and subtalar joints lesions in the proximal kinetic chain (lumbar spine, sacroiliac, hip, knee and stress fracture of tibia). We performed a search of electronic databases (PubMed, ScienceDirect, Google Scholar and SciELO), including articles published up to 2010, crossing the pronation, foot pronation and subtalar pronation descriptors, separately from low back pain, pain lumbopelvic, spinal pain, hip pain, anterior knee pain, patellofemoral pain syndrome, shin splints and stress fracture descriptors. From the analysis of abstracts and full reading of the articles pre-selected, it was included ten exploratory observational articles (cross-sectional, case-control and cohort), six items related to changes in the subtalar joint and lesions in the knee joint, three containing injured leg and one with chronic back pain. The results suggest that kinematic changes of the subtalar joint in static posture in functional activities (walking and down stairs) and during sports activities (running and landing from jumps), may be related to lesions in the proximal kinetic chain. Despite the small number of studies found, it was observed that lesions in the tibia, femur, knee and lumbar spine were correlated with the presence of hyperpronation or hypopronation or foot, which highlights the necessity of evaluating the kinematics of the foot and the subsequent intervention when these dysfunctions are related to lesions in the proximal kinetic chain.

Keywords: Pronation. Foot pronation. Subtalar pronation. Low back pain. Lumbopelvic pain. Spinal pain. Hip pain. Anterior knee pain. Patellofemoral pain syndrome. Shin splints. Stress fractures.

1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de pronação e supinação das articulações do pé são determinantes para biomecânica da marcha^{1,2}. A pronação da subtalar é caracterizada como a adução e flexão plantar do tálus, e eversão do calcâneo em cadeia cinemática fechada³. Este movimento destrava a articulação médio-társica, tornando o pé flexível e apto a (1) se adaptar às irregularidades do solo e (2) absorver o choque gerado no contato com o solo durante a fase de resposta a carga³. Por outro lado, a supinação, caracterizada por abdução e dorsoflexão do tálus, e inversão do calcâneo em cadeia cinemática fechada, promove o travamento da articulação médio-társica³. Este movimento, que idealmente se inicia logo após a fase de resposta a carga², transforma o pé em uma alavanca rígida para ação eficiente dos músculos que realizam a impulsão do membro inferior para a frente do corpo⁴. Portanto, o cumprimento das funções antagônicas do pé na marcha – absorção de choque e alavancagem – dependem primariamente dos movimentos de pronação e supinação da subtalar, os quais devem ocorrer nos momentos adequados e com magnitudes adequadas.

As consequência de alterações nos movimentos da subtalar não se restringem ao comprometimento da função do pé. A interdependência entre movimentos do complexo tornozelo-pé e a cinemática do membro inferior tem sido proposta há muitos anos e suportada por argumentos biomecânicos^{3,5,6}. Por exemplo, a pronação da articulação subtalar está associada com a rotação interna de tibia e fêmur, enquanto a supinação da subtalar está associada a rotação externa destes segmentos^{5,6,7}. Argumenta-se que a interrelação entre movimentos da subtalar, joelho e quadril no plano transversal parece ser mediada pelo acoplamento entre o tálus e a perna, na articulação talocrural^{3,7}. Especificamente, a grande congruência óssea entre a pinça maleolar e o tálus faz com que os movimentos de adução e abdução do tálus (componentes da pronação e supinação em cadeia cinemática fechada, respectivamente), ocorram acoplados aos movimentos de rotação interna e externa da tibia^{2,6}. A força deste acoplamento depende da inclinação do eixo da subtalar⁸. Quanto mais vertical for o eixo (como é o caso do pé cavo), mais movimentação no plano transversal ocorrerá durante a pronação e supinação e, conseqüentemente, maior rotação interna e externa de tibia e do fêmur seriam esperadas⁸.

Esta relação entre pronação e supinação do pé e rotações dos membros inferiores tanto na postura estática quanto na marcha foi recentemente confirmada por estudos experimentais^{7,9,10,11}. Khamis *et al.*⁷ e Pinto *et al.*⁹ induziram a hiperpronação da articulação subtalar via manipulações da postura do pé com a utilização de sandálias inclinadas, bilateral e unilateral, respectivamente. Foi observado que o aumento unilateral e bilateral da eversão do calcâneo levou ao aumento da anteversão pélvica e da rotação interna de tibia e fêmur^{7,9}. Enquanto que, a manutenção da posição evertida do retropé unilateralmente gerou aumento da inclinação pélvica no plano frontal⁹. Souza *et al.*¹⁰ investigaram o efeito do uso de sandálias com inclinação medial do antepé (simulando o varismo de antepé) na cinemática do membro inferior durante a fase de apoio da marcha. A utilização da sandália com inclinação medial aumentou a eversão do retropé durante a fase de apoio médio e apoio terminal da marcha, além de aumentar a amplitude de movimento de rotação interna da tibia e fêmur durante o apoio médio em comparação com o uso das sandálias com superfície plana¹⁰. Em outro estudo de análise biomecânica Souza *et al.*⁵ avaliaram a interdependência entre o complexo tornozelo-pé e o quadril durante a fase de apoio da marcha através de uma análise cinemática tridimensional com a utilização de sandálias planas que simulavam o calçado usual para a marcha. Foi encontrado forte correlação temporal entre movimentos de rotação interna-externa de joelho e rotação interna-externa de quadril e moderada correlação temporal entre eversão-inversão do retropé e rotação interna-externa de quadril⁵. Portanto, alterações na cinemática do pé durante a marcha, como a hiperpronação e a hipopronação, podem levar ao comprometimento da função do pé, assim como a sobrecarga de estruturas mais proximais.

A hiperpronação ou pronação excessiva da articulação subtalar é caracterizada pela presença de (1) magnitude, duração e/ou velocidade excessivas de pronação e (2) atraso do início e/ou déficit na magnitude de supinação subtalar, também durante a fase de apoio^{3,6}. A pronação excessiva tem sido tipicamente atribuída a disfunções mecânicas como retropé e antepé varos, hipermobilidade do primeiro raio, tibia vara, anteversão do colo do fêmur⁶. Devido às inter-relações entre a cinemática da subtalar e do membro inferior descritas no parágrafo acima, a ocorrência de pronação subtalar durante as fases de apoio médio e terminal levariam a tibia e o fêmur a realizarem movimentos de rotação interna mais prolongados e de maior magnitude, levando a modificações na mecânica do joelho e do quadril^{4,7,11}. Além disso, a pronação excessiva da subtalar pode gerar movimentos compensatórios não somente na tibia e no fêmur, mas também na pelve e na coluna^{11,12}. Segundo Gurney¹² e Michaud¹¹, o aumento da

rotação interna da tíbia e fêmur associada à hiperpronação favorece a anteversão e depressão pélvica, acarretando em inclinação lateral lombar para o lado do pé pronado e rotação do corpo vertebral para o lado contralateral.

As alterações cinemáticas associadas a pronação excessiva podem resultar em *stress* excessivo nos tecidos e articulações do sistema músculo-esquelético, podendo estar associadas ou favorecer o desenvolvimento de inúmeras lesões músculo-esqueléticas^{10,11,12,13,14,15}. Por exemplo, o aumento da rotação interna da tíbia em relação a pelve demonstrado por Souza *et al.*¹⁰ pode ser responsável por deformações atípicas e excessivas nas estruturas que ligam estes segmentos, tais como o reto femoral, banda íleo-tibial, e o sartório. Disfunções tais como tendinopatia patelar crônica^{11,13,14}, tendinopatia ou bursite de pata de ganso além de dor no quadril associada a processos degenerativos^{13,15} podem ocorrer como consequência.

A pronação excessiva do pé pode favorecer o desenvolvimento de lesões crônicas da articulação fêmuro patelar. Uma hipótese para o surgimento desta lesão foi proposta por Tibério⁶. De acordo com Tibério⁶, a rotação interna excessiva do fêmur é necessária para permitir a extensão do joelho na fase de apoio médio quando o pé se encontra pronado. Isto porque a extensão do joelho requer rotação externa de tíbia na articulação do joelho⁶. Quando o pé está pronado, a tíbia está rodada internamente, o que impediria a extensão do joelho⁶. Para que a extensão possa ocorrer, uma rotação interna excessiva do fêmur é necessária para gerar uma rotação externa relativa do joelho⁶. A rotação interna do fêmur com rotação externa relativa da tíbia favorece a lateralização da patela e o aumento das forças reativas laterais entre a superfície articular da patela e côndilo femural⁶. Finalmente, a pronação excessiva pode estar relacionada a síndrome do estresse tibial medial (SSTM), devido a tração excessiva dos músculos da perna que controlam a pronação no perióstio^{11,16}. Portanto, a pronação excessiva tem potencial para favorecer um grande número de lesões músculo-esqueléticas.

Assim como a pronação excessiva, a hipopronação pode comprometer a função do pé na marcha. A hipopronação pode ser caracterizada pela diminuição da magnitude de pronação ou pelo seu atraso durante a fase de resposta a carga^{6,11}. Uma das causas da hipopronação da

articulação subtalar é a deformidade do antepé em valgo associada a rigidez aumentada do primeiro raio⁶. Idealmente, após a fase de contato inicial da marcha, a articulação subtalar passa de uma leve supinação para pronação². Porém, quando o valgismo do antepé está presente associado a rigidez do primeiro raio, o lado medial do antepé entra em contato com o solo rapidamente, antes que o navicular toque o chão, forçando a subtalar para posição supinada^{6,11}. Nesta posição, a articulação médio-társica do pé não apresenta mobilidade adequada para adaptação do pé ao solo, diminuindo a habilidade do pé para absorção de choques¹¹. Uma vez que estas forças não são absorvidas pelo pé, outras estruturas vão receber *stress* excessivo como a tíbia e o joelho, o que pode estar associada a fraturas por *stress* e a dor lateral no joelho, respectivamente^{6,11}. Outro fator importante para o desenvolvimento de dores laterais no joelho pode estar relacionado ao *stress* em varo do joelho, apresentado durante a supinação do pé^{6,11}. Além disso, o pé supinado pode ser mais susceptível a lesões traumáticas como a entorse lateral de tornozelo devido os seguintes fatores: (1) nesta posição o tornozelo se encontra no final da amplitude de movimento (ADM) de inversão, o que permite menor tempo para a contração muscular prevenir desequilíbrios laterais do pé, e (2) a articulação médio-társica é hipomóvel quando o pé está supinado e apresenta baixa capacidade de dissipação de forças, transferindo energia para a articulação subtalar⁶.

A falta da pronação também impede a rotação interna do membro inferior (tíbia e fêmur), que é necessária para permitir a flexão do joelho durante a fase de resposta a carga da marcha⁶. Com a manutenção da posição supinada do pé, associada a rotação externa da tíbia e extensão do joelho, ocorre um pequeno atraso na flexão do joelho durante a fase de contato, exigindo maior produção de forças para movimentar o membro inferior⁶. Esta maior demanda de força para transferência de energia através da cadeia cinética pode contribuir para cisalhamento excessivo nas articulações sacro-ilíaca e púbica^{6,11}. Além do mais, o excesso de sobrecarga pode chegar a coluna vertebral, uma vez que os movimentos da cintura pélvica são muito pequenos^{6,11}. Portanto, estas alterações biomecânicas associadas a hipopronação, têm o potencial de favorecer lesões proximais devido ao *stress* excessivo nestas áreas, tais como fratura por *stress*, dor patelo-femoral, sacroileíte, pubalgia, além de degenerações precoces de quadril e coluna.

As considerações acima sugerem um possível papel de alterações cinemáticas do pé no desenvolvimento de lesões músculo-esqueléticas. No entanto, tal argumento requer suporte de estudos que diretamente demonstrem essa relação. Dessa forma, o objetivo desta revisão crítica da literatura foi investigar a correlação entre alterações na cinemática da subtalar e a ocorrência de lesões em articulações da cadeia cinética proximal (coluna lombar, sacroilíaca, quadril, joelho e fratura por *stress* de tíbia).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma busca nas bases de dados PubMed, ScienceDirect, Google Acadêmico e SciELO. Foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: *pronation, foot pronation, subtalar pronation, low back pain, lumbopelvic pain, spinal pain, hip pain, anterior knee pain, patellofemoral pain syndrome, shin splints, stress fractures*. Os três primeiros descritores foram selecionados para facilitar a identificação de estudos que avaliaram a cinemática da subtalar. Os outros descritores refletem as diversas disfunções tipicamente levantadas na literatura como possivelmente associadas a alterações na cinemática da subtalar. A mesma estratégia de busca foi realizada em todas as bases de dados pesquisadas, cruzando-se os termos *pronation, foot pronation* e *subtalar pronation* com as disfunções descritas acima. A busca de artigos foi realizada durante todo o período de elaboração da revisão. As palavras chaves foram pesquisadas no idioma inglês e não houve restrição quanto à data de publicação dos artigos.

Os estudos foram selecionados com base nos títulos, excluindo aqueles não relacionados com o tema do estudo. A seguir os resumos foram checados, observando aqueles que respondessem à pergunta inicial. Os textos completos foram adquiridos para a avaliação final.

2.1 Tipo de Estudo

Foram selecionados estudos observacionais exploratórios (transversal, caso-controle, coorte) que investigaram a correlação entre alterações na cinemática da subtalar e a ocorrência de lesões em estruturas da cadeia cinética proximal (coluna lombar, sacroilíaca, quadril, joelho e fratura por estresse de tibia). Estas alterações incluem a hipopronação e hiperpronação avaliadas tanto na postura estática quanto dinamicamente em atividades funcionais (e.g. marcha e descida de degraus) e atividades esportivas (corrida e aterrissagem de saltos). Não houve critérios de exclusão quanto ao tipo de metodologia utilizada para mensuração da cinemática da subtalar.

2.2 Tipo de Participantes

Nenhuma restrição relativa às características da amostra dos estudos (e.g. idade, sexo, ocupação) foi instituída para a seleção dos estudos.

3 RESULTADOS

3.1 Estratégias de Busca

A partir da busca bibliográfica realizada, como proposta na metodologia, foram encontradas 1251 referências, todas na língua inglesa. A pesquisa foi realizada incluindo os artigos publicados até 2010. Ao final da seleção foram incluídos seis artigos que relacionaram alterações na cinemática da articulação subtalar com lesões na articulação do joelho, três com lesões da perna e um com dor lombar crônica (DLC). Os estágios seguidos para seleção dos artigos durante a revisão crítica estão incluídos na FIGURA 1.

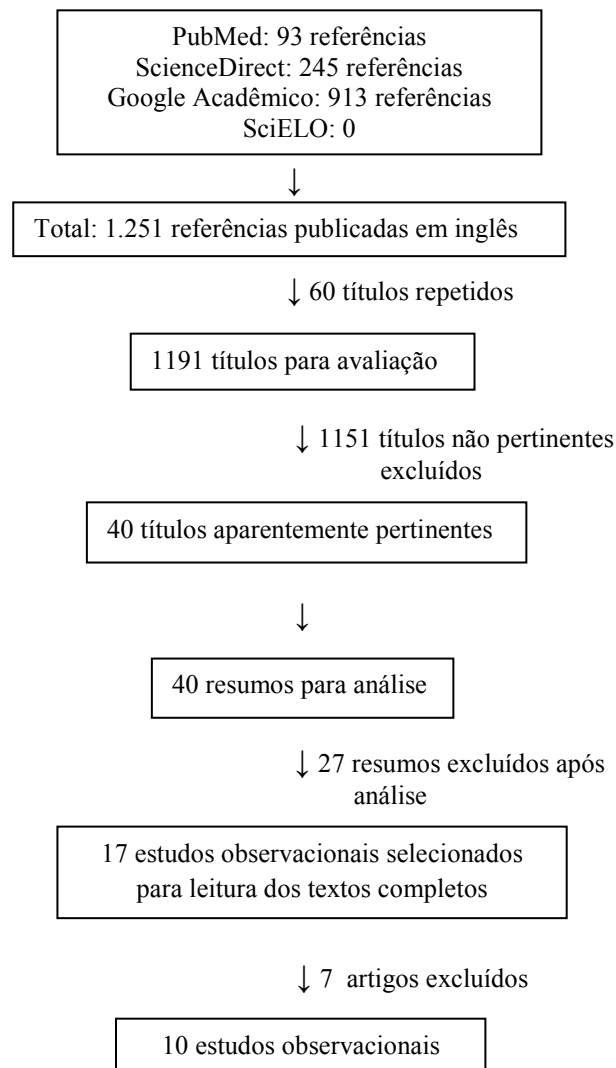


FIGURA 1 - Estágios seguidos durante o processo da revisão crítica da literatura.

3.2 Estudos relacionados a lesões do joelho

Piva *et al.*¹⁷ em estudo transversal, tiveram como um dos objetivos investigar se a pronação da subtalar na postura ortostática está associada com função e dor de pacientes com Síndrome da Dor Patelofemoral (SDPF). A amostra foi composta por 74 pacientes adultos, com média de idade de 29 anos, e diagnóstico de SDPF que estavam em tratamento fisioterapêutico em clínicas de reabilitação¹⁷. A pronação da subtalar foi mensurada, através do teste de queda do navicular¹⁷. Não foi encontrada correlação significativa entre pronação do pé e as variáveis de desfecho função ($p > 0,05$) e dor ($p > 0,05$)¹⁷.

Duffey *et al.*¹⁸ também em estudo transversal, investigaram a relação entre cinemática do retropé e Dor Anterior no Joelho (DAJ). As variáveis, tempo máximo de pronação, velocidade máxima da pronação e os primeiros 10% de pronação da subtalar na fase de apoio da marcha, foram avaliadas dinamicamente durante a corrida através de uma câmera de vídeo e um programa de análise de movimento¹⁸. O grupo amostral foi composto por 99 indivíduos com DAJ e o grupo controle por 70 participantes assintomáticos¹⁸. Das variáveis avaliadas os primeiros 10% de pronação da subtalar na fase de apoio da marcha foram significativamente menores no grupo com DAJ ($p < 0,05$)¹⁸, fator sugestivo de hipopronação neste grupo.

Aliberti *et al.*¹⁹ em estudo observacional do tipo caso-controle, analisaram a distribuição da pressão plantar durante a descida de degraus, utilizando uma plataforma de pressão. Eles avaliaram as variáveis áreas de contato, tempo de pressão integral e pico de pressão em 74 indivíduos, sendo 30 com SDPF e 44 com ausência de quadro algico no joelho (Grupo Controle)¹⁹. Os participantes foram instruídos a descer cinco degraus sem auxílio do corrimão para apoio (cadência da descida 96steps/min)¹⁹. A área de contato foi maior no retropé medial e mediopé ($p = 0,042$), e o pico de pressão foi menor ($p = 0,039$) em indivíduos com SDPF¹⁹, dois fatores sugestivos de maior pronação neste grupo.

Boling *et al.*²⁰ investigaram em um estudo prospectivo 1597 militares da Academia Naval dos Estados Unidos, 632 do sexo feminino e 965 do sexo masculino. O estudo realizou *follow-up*

de até dois anos e seis meses a partir do diagnóstico de SDPF²⁰. Foi avaliado a associação do alinhamento postural do tornozelo com o desenvolvimento da SDPF²⁰. O teste de queda do navicular foi utilizado para mensurar a pronação da subtalar.²⁰ As alterações da cinemática e cinética da extremidade inferior foram avaliadas durante a aterrissagem do salto sobre a plataforma de pressão²⁰. A queda do navicular foi significativamente maior nos indivíduos que desenvolveram SDPF e durante a aterrissagem no solo observou-se uma diminuição na força de reação do solo vertical, além de aumento do ângulo de rotação interna do quadril²⁰. Todas estas alterações na cinemática estão associadas a hiperpronação do pé durante a aterrissagem do salto.

Thijs *et al.*²¹ realizaram um estudo prospectivo também com o objetivo de investigar o impacto da cinemática do pé durante a marcha para o desenvolvimento de SDPF. A distribuição de pressão foi avaliada durante as fases da marcha de contato inicial, resposta a carga e retirada do pé, utilizando-se a plataforma de pressão²¹. A amostra foi composta por 84 oficiais cadetes, 65 do sexo masculino e 19 do sexo feminino²¹. Foi realizado *follow-up* de seis semanas²¹. Indivíduos que desenvolveram SDPF apresentaram pressão distribuída mais lateralmente no contato inicial ($p=0.003$)²¹, indicativa de supinação excessiva no choque de calcanhar. Além disso, foi observado que estes indivíduos apresentaram menor tempo de pressão máxima no quarto metatarso ($p=0.009$) e atraso na velocidade máxima da mudança de direção látero-medial na fase de contato do antepé ($p=0.002$)²¹, o que indica atraso do movimento de pronação.

Finalmente, Beckett *et al.*²² em estudo transversal, determinaram a prevalência de pronação excessiva do pé em indivíduos com lesões de Ligamento Cruzado Anterior (LCA) do joelho. O instrumento utilizado para mensurar a pronação da subtalar na postura estática foi o teste de queda do navicular²². A população estudada foi dividida em dois grupos: Grupo Lesão LCA formado por 50 indivíduos (11 do sexo feminino e 39 sexo masculino) e Grupo Controle formado por 50 indivíduos (18 do sexo feminino e 32 do sexo masculino)²². O Grupo Lesão LCA apresentou queda do navicular significativamente maior em comparação ao Grupo Controle ($p=0.001$)²².

3.3 Estudos relacionados a lesões na perna (shin splints, fratura por *stress*)

Reinking; Hayes²³ em estudo transversal, compararam a pronação da subtalar e a flexibilidade do tornozelo em corredores com história de Dor na Perna Relacionada ao Exercício (DPRE) e em indivíduos sem dor. A pronação da subtalar na posição estática foi mensurada através do teste de queda do navicular. A amostra foi composta por 63 corredores atletas de duas equipes universitárias, divididos em 33 participantes do grupo com DPRE e 30 do grupo controle²³. Não foram encontradas diferenças significativas na pronação da subtalar entre os dois grupos ($p > 0,05$)²³.

Hetsroni *et al.*²⁴ em um estudo de coorte prospectivo, examinaram a cinemática do tornozelo durante a marcha com o objetivo de determinar se as alterações biomecânicas do pé estão associadas com o desenvolvimento de fraturas por *stress* no fêmur e tíbia. As variáveis ângulo máximo da pronação, ADM da pronação, tempo para pronação máxima, velocidade média angular da pronação e duração da pronação foram mensuradas em 473 soldados, utilizando um sistema de análise do movimento e uma câmera de vídeo²⁴. Foi realizado *follow-up* de 14 semanas. Dez por cento dos participantes foram diagnosticados com fraturas por stress do fêmur e tíbia através de exames por imagem²⁴. Os indivíduos com longa duração da pronação do pé possuíam menor risco de desenvolverem este tipo de fratura do que indivíduos apresentando redução da pronação²⁴.

Finalmente, Raissi *et al.*²⁵ avaliaram prospectivamente (*follow-up* de 17 semanas), em 66 atletas não profissionais (21 do sexo masculino e 45 do sexo feminino), se a pronação da subtalar está relacionada com a ocorrência de Síndrome do *Stress* Tibial Medial (SSTM). A pronação foi mensurada na posição estática, através do teste de queda do navicular²⁵. A pronação da subtalar nos dois pés foi significativamente maior nos atletas que desenvolveram SSTM ($p < 0,05$)²⁵.

3.4 Estudos relacionados à Dor Lombar Crônica

Brantingham *et al.*²⁶ realizaram um estudo transversal, tendo como um dos objetivos avaliar a correlação entre pronação do pé e a prevalência de DLC. O grupo de investigação foi composto por 100 indivíduos com DLC (68% sexo feminino e 32% sexo masculino), enquanto o grupo controle foi formado por 104 participantes sem DLC (39% sexo feminino e 61% sexo masculino)²⁶. Os avaliadores mensuraram a pronação do pé através do teste de queda do navicular na posição estática²⁶. O grupo de DLC apresentou queda do navicular significativamente menor ($p < 0.05$) em comparação com o grupo de indivíduos saudáveis²⁶, o que indica redução da pronação no grupo de DLC.

4 DISCUSSÃO

A proposta deste estudo foi investigar a correlação entre alterações da cinemática do pé (hiperpronação e hipopronação) e lesões na cadeia cinética proximal (coluna lombar, sacroilíaca, quadril, joelho e fratura por *stress* de tibia) na postura estática e durante atividades funcionais e esportivas como a marcha, corrida, descida de degraus e aterrissagem de saltos. A interdependência entre movimentos da articulação subtalar e a cinemática do membro inferior está bem descrita na literatura^{5,7,9,10,12}. A maior parte dos estudos encontrados confirmam que a cinemática alterada da subtalar pode influenciar nas lesões em articulações mais proximais. Especificamente, esta revisão bibliográfica levantou evidências da relação entre alterações na cinemática do pé e as seguintes lesões: DAJ, SDPF, lesão de LCA, fraturas por *stress* no fêmur e tibia, SSTM e DLC^{18,19,20,21,22,24,25,26}.

Duffey *et al.*¹⁸ encontraram relação entre alterações na cinemática do pé consistentes com hipopronação e DAJ. A DAJ compreende um grande número de desordens nesta região, incluindo disfunções como tendinopatia patelar, inflamação da gordura de Hoffa, tendinite ou bursite da pata de ganso, lesão osteocondral, lesão intra-articular, distrofia simpático reflexa, osteoartrose e síndrome da faceta de Odd. A hipopronação da articulação subtalar durante a fase de apoio da marcha está relacionada à diminuição na habilidade do pé de absorver choques, o que pode levar a sobrecarga excessiva do joelho¹¹. O aumento do *stress* em varo do joelho, presente com a supinação do pé também pode favorecer o desenvolvimento de dores no joelho, por aumentar a compressão na região medial e levar ao estiramento de estruturas laterais⁶. No estudo revisado, Duffey *et al.*¹⁸ observaram que os indivíduos com DAJ tinham 25% menos de pronação nos primeiros 10% da fase de apoio da marcha. Uma vez que a pronação do pé é essencial para a adequada absorção de energia criada entre o contato do pé com o solo durante a marcha, foi hipotetizado pelos autores que a pobre absorção de choque durante o início da fase de apoio da marcha, poderia ser responsável pela DAJ, contribuindo para lesão por *overuse*¹⁸.

Thijs *et al.*²¹ observaram relação entre alterações na cinemática do pé consistentes com hipopronação e SDPF. Após mensuração da pressão plantar, durante a marcha foram

definidos três fatores de risco intrínsecos para o desenvolvimento de SDPF, sendo eles (1) maior distribuição de pressão na região lateral do pé na fase de contato inicial da marcha, (2) pressão máxima mais rápida no quarto metatarso e (3) atraso na mudança de direção látero-medial na fase de contato do antepé²¹. Estes fatores indicam que este grupo de pessoas apresentou menor pronação na fase de contato da marcha²¹. Isto poderia levar a menor absorção de choques no pé e conseqüentemente, a maior parte da força de reação do solo seria transferida para articulações mais proximais, como o joelho²¹. Além disso, a redução da pronação do pé diminuiria a rotação interna da tibia e levaria a tuberosidade tibial (TT) mais lateralmente em relação ao fêmur, aumentando o ângulo Q devido ao crescimento lateral do vetor entre a espinha íliaca ântero-superior (EIAS) e a TT, gerando pressão adicional entre a faceta patelar ipsilateral e o sulco femoral, na direção da rotação externa do joelho²¹. Durante um período de seis semanas de treinamento, 43% da amostra do estudo, composta por recrutas militares desenvolveram SDPF²¹. Porém, o autor ressaltou que estes achados devem ser analisados com cautela quando comparados com a população sedentária ou que realiza exercícios de baixa-moderada intensidade, pois os indivíduos envolvidos neste estudo desempenhavam atividades de alta intensidade e com pouco tempo para recuperação, o que justificaria a alta incidência de SDPF por *overuse*²¹.

Em dois estudos revisados foi encontrado relação entre hiperpronação e SDPF^{19,20}. Esta correlação entre pronação excessiva da subtalar e SDPF é suportada por argumentação biomecânica^{6,11,27}. Segundo Tibério⁶ e Powers²⁷, a rotação interna da tibia pode levar a rotação interna compensatória do fêmur para manter a relativa rotação externa do platô tibial em relação ao côndilo femoral associado com a extensão do joelho durante a fase de apoio médio da marcha. Porém, quando o fêmur roda internamente, ocorre aumento da compressão entre a superfície articular lateral da patela e o côndilo lateral do fêmur e conseqüentemente o *stress* na articulação patelofemoral torna-se maior, o que pode aumentar a ocorrência de SDPF^{6,27}. No estudo revisado, Aliberti et al.¹⁹ encontraram alterações em duas variáveis consistentes com hiperpronação e SDPF. Foi observado maior área de contato no retropé medial e mediopé, e menor pico de pressão durante a descida de degraus em indivíduos com SDPF¹⁹. Os autores sugeriram que a apresentação de maior contato medial em indivíduos sintomáticos pode ser atribuída a maior eversão do retropé na fase de contato¹⁹. Isto indicaria que a descida de degraus pode ter exigido maior flexão de joelho e maior ação de quadríceps femoral e assim, a exacerbação de sintomas poderia revelar mau alinhamento dinâmico e alterações na

pressão plantar, uma vez que a atividade exigida no estudo (descida de degraus) foi mais desafiadora no ponto de vista muscular e biomecânico, quando comparado à marcha¹⁹. A segunda alteração cinemática encontrada foi o menor pico de pressão plantar, indicando que a tarefa foi realizada de forma mais cautelosa e com menor descarga de peso plantar quando comparado aos indivíduos assintomáticos¹⁹. Esta estratégia seria utilizada para reduzir a força de reação articular patelofemoral, minimizando a sobrecarga na faceta articular da patela para diminuir a dor no joelho¹⁹. Já no estudo de Boling et al.²⁰ foi constatado maior queda do navicular (medida na posição estática), diminuição na força de reação do solo vertical e aumento do ângulo de rotação interna do quadril durante a aterrissagem no solo em indivíduos que apresentaram SDPF. Estas alterações na cinemática do pé são consistentes com a hiperpronação da subtalar. Para explicar os resultados encontrados, os autores desenvolveram um modelo conceitual para o surgimento da SDPF, demonstrando que o aumento do ângulo de rotação interna do quadril em consequência da maior queda do navicular, poderia levar a lateralização da patela²⁰. O mau alinhamento da patela no sulco femoral aumentaria a pressão de contato patelofemoral e movimentos repetitivos nessa posição poderiam levar ao desenvolvimento de SDPF²⁰. A associação entre hiperpronação e SDPF foi suportada pelo estudo de Eng & Pierrynowski²⁸. Eles investigaram a efetividade do uso de órteses no tratamento da SDPF. A amostra foi composta por 20 adolescentes do sexo feminino com diagnóstico de SDPF, que apresentavam varismo excessivo de antepé ou valgismo de retropé²⁸. Foi observado melhora significativamente maior nos indivíduos que utilizaram órteses para a correção da hiperpronação do pé²⁸.

Foi observado correlação entre hiperpronação e lesão de LCA²². Sabe-se que a pronação excessiva da subtalar no plano frontal aumenta o stress em valgo dinâmico do joelho e pode exceder o limiar das estruturas que estabilizam o joelho medialmente, entre elas o LCA e Ligamento Cruzado Medial (LCM)⁶. No estudo de Beckett *et al.*²², o grupo com lesão de LCA apresentou queda do navicular significativamente maior quando comparado ao grupo controle. Foi sugerido que a prolongada hiperpronação do complexo tornozelo-pé produz rotação interna excessiva da tíbia e gera um efeito de “pré - sobrecarga” no LCA²². Visto que os movimentos de rotação interna e hiperextensão aumentam o *stress* do LCA, este efeito de “pré - sobrecarga” explicaria parcialmente o fato de grande parte das lesões de LCA ocorrerem sem o contato do indivíduo acometido com outro atleta na prática de atividades esportivas²². Os autores sugeriram também que durante o contato inicial a contração do

quadríceps produz deslocamento anterior da tíbia e torque de rotação interna do joelho²². Os isquiossurais, meniscos e o LCA resistem ao deslocamento anterior e rotatório da tíbia, porém se essas forças apresentarem pouca resistência ao movimento do joelho, apenas a integridade do LCA é comprometida²². Os resultados do estudo revisado²² corroboraram com os achados de Loudon *et al.*²⁹, que realizaram um estudo transversal com 40 atletas universitárias e observaram que a pronação da subtalar foi um diferenciador significativo entre o Grupo com lesão de LCA e o Grupo sem lesão de LCA.

Outro estudo revisado observou relação entre alterações na cinemática do pé consistente com hipopronação e fratura por *stress* do fêmur e tíbia²⁴. Sabe-se que a pronação do pé durante atividades em cadeia cinemática fechada é responsável pela dissipação da energia produzida pela força de reação do solo¹¹. Desta forma, a baixa capacidade de absorção de energia apresentada em pés hipopronados durante a fase de contato da marcha, pode explicar a maior probabilidade do desenvolvimento de fraturas por *stress* femoral e metatarsal¹¹. Neste contexto, Hetsroni *et al.*²⁴ em estudo prospectivo, avaliaram parâmetros dinâmicos da pronação do pé em recrutas militares do sexo masculino durante um programa de treinamento de alta intensidade para o sistema músculo-esquelético. Foi constatado que indivíduos com longo tempo de pronação do pé apresentavam menor probabilidade de desenvolverem fratura por *stress* de tíbia e fêmur²⁴. Os autores sugeriram que este achado pode ser explicado por um simples princípio mecânico²⁴. A redução no momento do corpo durante a fase de contato da marcha depende da integração entre força e tempo²⁴. O longo tempo de pronação pode necessitar de menor magnitude de força e promover atenuação mais gradual deste momento, gerando menor demanda ao sistema músculo-esquelético²⁴. Os autores descreveram ainda que o número de indivíduos lesados pode ter sido minimizado, pois a amostra deste estudo foi composta apenas pela população masculina e sabe-se que recrutas do sexo feminino têm apresentado maior incidência de fraturas por *stress* em comparação com recrutas masculinos²⁴.

Foi encontrado relação entre alterações na cinemática da marcha consistentes com hiperpronação e SSTM²⁵. Michaud¹¹ propôs que a velocidade angular da pronação é o fator mais determinante no desenvolvimento de lesões, quando comparado ao fator ADM máxima da pronação excessiva. A contração excêntrica do músculo tibial posterior é responsável pela

desaceleração da pronação da subtalar na fase de contato da marcha^{6,11}. Porém, quando a velocidade da pronação é muito rápida, as forças de tração sobre este músculo, transferidas para a tibia são maiores, gerando lesão no periósteo descrita como periostite ou SSTM^{6,11,16}. O estudo revisado de Raissi *et al.*²⁵ sugere que lesões por overuse nos membros inferiores associadas à pronação excessiva podem ser secundárias a movimentos compensatórios devido ao desalinhamento anatômico do pé e tibia. Porém, neste estudo não foi encontrado deformidades no alinhamento do membro inferior (Angulo Q, angulo de rotação interna e rotação externa do quadril, ângulo do quadríceps, alinhamento tibial e alinhamento do retropé)²⁵. Então, a discrepância entre os resultados da queda do navicular e o alinhamento do membro inferior pode ter sido devido a ausência de mensuração do varismo de antepé, ou seja, os indivíduos que desenvolveram SSTM poderiam apresentar esta deformidade²⁵. Os autores sugeriram ainda que o conflito entre os resultados do teste de queda do navicular e o alinhamento do retropé pode ter ocorrido devido a utilização de um instrumento de mensuração uniplanar (teste de queda do navicular) quando na realidade o movimento ocorre no plano tridimensional²⁵.

No estudo de Brantingham *et al.*²⁶, não foi encontrado correlação entre queda do navicular e DLC. Contrariamente, foi observado queda do navicular significativamente menor no pé direito em pacientes com DLC²⁶. Entretanto, outros estudos demonstram que a pronação excessiva da subtalar pode estar associada ao desenvolvimento de DLC^{6,9,11,12}. De acordo com Gurney¹², a assimetria excessiva na eversão do calcâneo cria um membro funcionalmente mais curto (membro inferior ipsilateral ao pé pronado), o que pode levar a inclinação pélvica no plano frontal e conseqüentemente ao desenvolvimento de escoliose na postura ortostática. A manutenção desta postura pode estar associada a sobrecarga assimétrica sobre o disco intervertebral, o que contribui para a degeneração dessa estrutura³⁰. Além disso, a anteversão e inclinação pélvica são observadas na presença de hiperlordose lombar³¹. Esta alteração postural pode estar associada a sobrecarga nas articulações facetárias, levando a ocorrência de DLC³². Portanto, estes resultados sugerem que a postura lombar é dependente de movimentos pélvicos, e a presença de alterações na articulação subtalar podem estar relacionados a alterações nestes movimentos e, conseqüentemente, a quadros algícos na coluna lombar. A associação entre hiperpronação e DLC é suportada por um estudo de caso de um paciente de 35 anos com assimetria da ADM de rotação do quadril e da articulação subtalar, apresentando sinais e sintomas de lombalgia crônica inespecífica e disfunção sacroilíaca³³. O tratamento

envolveu correção das discrepâncias no quadril e articulação subtalar e apresentou eliminação da sintomatologia recorrente após *follow-up* de um ano, demonstrando a importância da avaliação e tratamento da extremidade inferior em pacientes com DLC³³. O resultado encontrado no estudo de Brantingham *et al.*²⁶ sugere correlação entre hipopronação e DLC. Assim como a hiperpronação, a ausência de pronação também pode estar ligada a esta condição clínica. A supinação do pé durante a fase de descarga de peso da marcha, como descrita anteriormente, impede a rotação interna de tíbia e fêmur, o que pode sobrecarregar a coluna lombar, uma vez que as articulações sacroilíacas e sínfise púbica apresentam pouco movimento para dissipar a energia mecânica da força de reação do solo¹¹. Estes resultados sugerem que quando a carga fisiológica normal de uma articulação é excedida por *overuse*, ambas alterações cinemáticas da articulação subtalar, ou seja, tanto a hiperpronação quanto a hipopronação, podem estar relacionados ao desenvolvimento de uma mesma disfunção. Isto se deve provavelmente a alterações na biomecânica normal da cinemática do membro inferior devido a exposição por *overuse*.

Dois estudos não encontraram correlação significativa entre hiperpronação e lesões na cadeia cinética proximal^{17,23}. Em ambos estudos a pronação da subtalar foi mensurada através do teste de queda do navicular na posição estática^{17,23}. Isto pode explicar a falta de correlação entre pronação excessiva e lesões proximais. Quando um indivíduo está andando, correndo ou saltando, a pronação pode ser controlada por mecanismos que não estão disponíveis quando o indivíduo está parado^{34,35}. Por exemplo, pode haver troca de energia mecânica, através da articulação do quadril, entre os segmentos do membro inferior apoiado e outros segmentos do sistema músculo-esquelético como a pelve, membro inferior contralateral e tronco^{34,35}. Durante a fase de apoio, a pelve realiza o movimento de rotação anterior, caracterizado por rotação externa em relação ao membro inferior apoiado^{11,35}. A energia cinética desse movimento pode ser transmitida ao membro inferior em apoio e contribuir para a desaceleração da rotação interna e produção da rotação externa dos segmentos coxa e perna, gerando supinação subtalar e permitindo o comportamento rígido do pé para a transmissão eficiente de energia mecânica durante a impulsão no final da fase de apoio^{35,36}. Piva *et al.*¹⁷ avaliaram a correlação entre pronação excessiva do pé e as variáveis função e dor em pacientes com SDPF. Segundo os autores, a ausência de correlação pode ser explicada em partes pelo fato de a amostra do estudo ter apresentado queda do navicular dentro dos limites de normalidade (valor médio no teste de queda do navicular: 6.3-3.6 mm)¹⁷. Já Reinking;

Hayes²³ pesquisaram a correlação entre pronação do pé e DPPE e apresentaram algumas limitações no estudo que podem ter comprometido para a ausência de correlação entre as variáveis hiperpronação e DPPE. 1) Os próprios atletas informaram a ocorrência de dor na perna e podem ter omitido o quadro álgico por receio de prejudicar sua participação no esporte²³. 2) Foi perguntado sobre o uso de órteses, porém elas não foram avaliadas²³. 3) Os resultados não podem ser generalizados para outras populações, pois a amostra do estudo foi limitada a atletas de duas universidades²³. 4) Apenas uma equipe foi acompanhada para identificar o desenvolvimento de DPPE, a outra equipe não pôde ser monitorada por imposição da instituição²³. Outra explicação para a ausência de correlação entre pronação e lesões na cadeia cinética proximal pode estar relacionada ao desenho destes estudos. Ambos são transversais, e por suas próprias características não possibilitam inferências sobre causa e efeito entre o movimento do pé e a ocorrência de lesões.

A presente revisão crítica da literatura sugere que alterações cinemáticas do pé deveriam ser avaliadas na presença de lesões na cadeia cinética proximal. O instrumento mais utilizado para avaliar a hiperpronação e hipopronação da articulação subtalar nos estudos revisados foi o teste de queda do navicular^{17,20,22,23,25,26}. Apesar de ser um instrumento validado para a mensuração da pronação da subtalar³⁷ e que apresenta moderada-alta confiabilidade intra e interexaminadores^{37,38}, a mensuração da queda do navicular é realizada na postura estática. Sabe-se que movimentos no retopé e rotações nos membros inferiores podem ser influenciados por forças proximais através da articulação do quadril^{34,35,36}. Estas forças proximais podem ser determinantes para a produção de rotação externa da tibia e conseqüentemente para a inversão do retopé no final da fase de apoio da marcha, transformando o pé em uma alavanca rígida para ação eficiente dos músculos que realizam a impulsão³⁶. Desta forma, a avaliação na postura estática pode negligenciar a presença de fatores proximais no controle da pronação. Logo, instrumentos que avaliem a cinemática do pé dinamicamente, durante a marcha ou em outras atividades funcionais e esportivas, podem apresentar resultados mais amplos e conseqüentemente de maior confiabilidade, quando comparados com mensurações na postura estática.

5 CONCLUSÃO

Esta revisão crítica concluiu que existem poucos estudos na literatura que investigaram a relação entre alterações cinemáticas da subtalar e lesões na cadeia cinética proximal. Contudo, foi identificada correlação entre alterações na cinemática do pé na postura estática, em atividades funcionais (marcha e descida de degraus) e durante atividades esportivas (corrida e aterrissagem de saltos) e disfunções na tíbia, fêmur, joelho e coluna lombar. Não foram encontrados estudos observacionais exploratórios que investigaram a relação entre alterações na cinemática do pé e disfunções no quadril e sacroilíaca. A partir dos achados desta revisão é sugerido que sejam realizados mais estudos observacionais prospectivos sobre a correlação entre alterações na cinemática da subtalar e a ocorrência de lesões em articulações da cadeia cinética proximal (coluna lombar, sacroilíaca, quadril, joelho e fratura por *stress* de tíbia).

REFERÊNCIAS

- 1 DONATELLI, R. et al. Relationship between static and dynamic foot postures in professional baseball players. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, v. 29, n. 6, p. 316-325, 1999.
- 2 MICHAUD, T. C. ideal motions during the gait cycle. In: **Foot orthoses and other forms of conservative foot care**. Baltimore: Williams and Wilkins, 1993. cap. 2, p. 27-56.
- 3 ROCKAR, P. A. Jr. The subtalar joint: anatomy and joint motion. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 21, n. 6, p. 361-372, Jun. 1995.
- 4 MCPOIL, T. G.; KNECHT, H. G. Biomechanics of the foot in walking: a function approach. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 7, p. 69-72, 1985.
- 5 SOUZA, T.R. *et al.* Temporal couplings between rearfoot–shank complex and hip joint during walking. **Clinical Biomechanics**, v. 25, n. 7, p. 745-748, 2010.
- 6 TIBERIO, D. Pathomechanics of structural foot deformities. **Physical Therapy**, v. 68, n. 12, p. 1840-1849, Dec. 1988.
- 7 KHAMIS, S.; YIZHAR, Z. Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. **Gait Posture**, v. 25, n. 1, p. 127-134, Jan. 2007.
- 8 NORKIN, C. C.; LEVANGIE, P. K. **Articulações estrutura e função. uma abordagem prática e abrangente**. 2.ed. São Paulo: Revinter, 2001.
- 9 PINTO, Z. A. R. *et al.* Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. **Manual Therapy**, v. 13, p. 513-519, 2008.
- 10 SOUZA, T. R. *et al.* Late rearfoot eversion and lower-limb internal rotation caused by changes in the interaction between forefoot and support surface. **Journal of the American Podiatric Medical Association**, v. 99, n. 6, p. 503-511, Nov/Dec. 2009.
- 11 MICHAUD, T. C. The Foot: hyperpronation and hypopronation. In: Hammer WI. **Functional soft tissue examination and treatment by manual methods**. Gaithersburg: Aspen Publishers; 1999. cap. 8, p. 331-356.

- 12 GURNEY, B. Leg length discrepancy. **Gait and Posture**, v. 15, p. 195-206, 2002.
- 13 LUTTER, L.D. Foot-related knee problems in the long distance runner. **Foot & ankle**, v. 1, n. 2, p. 112-116, 1980.
- 14 MENDONÇA, L. D. M. *et al.* Comparison of the anatomical alignment of lower limbs between healthy individuals and those with patellar tendinosis. **Rev Bras Fisioterapia**, v. 9, n. 1, p. 101-107, 2005.
- 15 NOBLE, C. A. Iliotibial band friction syndrome in runners. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 8, n. 4, p. 232-234, 1980.
- 16 VIITASALO, J. T.; KVIST, M. Some biomechanical aspects of the foot and ankle in athletes with and without shin splints. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 11, n. 3, p. 125-130, May/Jun. 1983.
- 17 PIVA, S.R. *et al.* Associates of physical function and pain in patients with patellofemoral pain syndrome. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 90, p. 285-295, Feb. 2009.
- 18 DUFFEY, M.J. *et al.* Etiologic factors associated with anterior knee pain in distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 11, p. 1825-1832, Jan. 2000.
- 19 ALIBERTI, S. *et al.* Medial contact and smaller plantar loads characterize individuals with Patellofemoral Pain Syndrome during stair descent. **Physical Therapy in Sport**, v. 11, p. 30-34, 2010
- 20 BOLING, M. C. *et al.* A prospective investigation of biomechanical risk factors for patellofemoral pain syndrome: the joint undertaking to monitor and prevent ACL injury (JUMP-ACL) cohort. **The American Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 11, p. 2108-2116, Sep 24, 2009.
- 21 THIJS, Y. *et al.* A prospective study on gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain. **Clin J Sport Med**, v. 17, n. 6, p. 437-445, Nov. 2007.
- 22 BECKETT, M.E. *et al.* Incidence of hyperpronation in the ACL injured knee: a clinical perspective. **Journal of Athletic Training**, v. 27, n. 1, p. 58-62, 1992.

23 REINKING, M.F. HAYES, A.M. Intrinsic factors associated with exercise-related leg pain in collegiate cross-country runners. **Clin J Sport Med**, v. 16, n. 1, p. 10-14, Jan. 2006.

24 HETSRONI, I. *et al.* The role of foot pronation in the development of femoral and tibial stress fractures: a prospective biomechanical study. **Clin J Sport Med**, v.18, n. 1, p. 18-23, Jan. 2008.

25 RAISSI, G.R. *et al.* The relationship between lower extremity alignment and medial tibial stress syndrome among non-professional athletes. **BioMed Central**, v. 1, n. , p. 11, Jun. 2009.

26 BRANTINGHAM, J.W. *et al.* Sagittal plane blockage of the foot, ankle and hallux and foot alignment-prevalence and association with low back pain. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 5, n. 4, p. 123-127, Aug. 2006.

27 POWERS, C. M. The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 33, n. 11, p. 639-646, 2003.

28 ENG, J. J.; PIERRYNOWSKI, M. R. Evaluation of soft foot orthotics in the treatment of patellofemoral pain syndrome. **Physical Therapy**, v. 73, p. 62-98, 1993.

29 LOUDON, J. K.; JENKINS, W.; LOUDON, K. L. The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 24, n. 2, p. 91-97, 1996.

30 AEBI, M. The adult scoliosis. **European Spine Journal**, v.14, p. 925-948, 2005.

31 LEGAYE, J. *et al.* Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. **European Spine Journal**, v. 7, n. 2, p. 99-103, 1998.

32 STEINBERG, E. L. *et al.* A comparative roentgenographic analysis of the lumbar spine in male army recruits with and without lower back pain. **Clinical Radiology**, v. 58, p. 985-989, 2003.

33 CIBULKA, M.T. Low back pain and its relation to the hip and foot. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**. v. 29, n. 10, p. 595-601, 1999.

34 ZAJAC, F. E.; NEPTUNE, R. R.; KAUTZ, S. A. Biomechanics and muscle coordination of human walking. Part I: introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. **Gait Posture**. v. 16, n. 3, p. 215-232, Dec. 2002.

35 FONSECA, S. T. *et al.* Integration of stresses and biomechanics and muscle coordination of human walking. Part I: introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. Gait Posture and their relationship to the kinetic chain. In: MAGEE, D. J., ZACHAZEWSKI, J.E., QUILLEN, W.S. (ed). **Scientific foundations and principles of practice in musculoskeletal rehabilitation**. St Louis: Saunders Elsevier; 2007. p. 476-486.

36 BELLCHAMBER, T. L.; VAN DEN BOGERT, A. J. Contributions of proximal and distal moments to axial tibial rotation during walking and running. **Journal Biomechanics**, v. 33, n. 11, p. 1397-1403, 2000.

37 MUELLER, M. J.; HOST, J. V.; NORTON, B. J. Navicular drop as a composite measure of excessive pronation. **Journal of the American Podiatric Medical Association**, v. 83, n. 4, p. 198-202, 1993.

38 SELL, K. E. *et al.* Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 19, n. 3, p. 162-167, 1994.

TABELA 1 – Estudos relacionados à articulação do joelho

Autor/ Ano	Tipo de Estudo	Objetivo	Amostra		Variáveis Desfecho	Avaliação	Resultados
			Numero e Gênero	Média de Idade			
Piva R. <i>et al.</i> (2009)	Transversal	Investigar se a pronação da subtalar na postura ortostática está associado com função e dor em pacientes com SDPF.	74 pacientes com diagnóstico de SDPF: 39 mulheres (52%), 35 homens (48%).	Entre 12 e 50 anos de idade. Média de 29 anos.	Variável Independente: - Pronação excessiva da subtalar.	Pronação do pé foi mensurada através do Teste de Queda do Navicular.	-A pronação excessiva da subtalar não foi associada com função e dor nesta amostra.
Duiffey <i>et al.</i> (2000)	Longitudinal Observacional	Determinar as alterações na cinemática do retropé entre indivíduos com DAJ e sem DAJ durante a marcha e a corrida.	Grupo com DAJ: 99 indivíduos (69% do sexo masculino). Grupo controle: 70 indivíduos sem DAJ (76% do sexo masculino).	Grupo amostral: 36 anos. Grupo controle: 35 anos.	Análise de movimento do retropé durante a marcha: - Tempo máx. de pronação, - Velocidade máx. da pronação, - 10% iniciais da pronação.	Pronação do pé mensurada por sistema de análise do movimento com a utilização de câmera de vídeo, marcadores reflexíveis e plataforma de pressão.	-A pronação do pé nos primeiros 10% da fase de apoio foi significativamente menor no grupo com DAJ em comparação ao grupo controle.
Alibert <i>et al.</i> (2010)	Observacional Caso-Controle	Investigar a área de contato, o pico de pressão e o tempo de pressão integral em indivíduos com e sem SDPF durante a fase de apoio na descida de degraus.	74 adultos. Grupo SDPF: 26 do sexo feminino e 4 do sexo masculino. Grupo controle: 39 do sexo feminino e 5 do sexo masculino.	30 anos para ambos os grupos.	Foram avaliadas três variáveis: - Áreas de contato; - Tempo de pressão integral; - Pico de pressão. Através de seis áreas de pressão: retropé medial, retropé central, retropé lateral, médiopé, antepé medial e antepé lateral.	A cinemática do pé foi mensurada com a plataforma de pressão através da distribuição de pressão plantar.	-No grupo SDPF a área de contato foi maior no retropé medial e médiopé. -O pico de pressão foi menor em indivíduos com SDPF.

Boling <i>et al.</i> (2009)	Coorte Prospectivo	Investigar se alterações na cinemática e cinética do membro inferior são fatores de risco biomecânico para a ocorrência de SDPF.	1597 militares da Academia Naval dos Estados Unidos: 632 do sexo feminino, 965 do sexo masculino.	Média não especificada.	-Pronação da subtalar. -Alterações cinemáticas do pé na aterrissagem do salto. -Desenvolvimento de SDPF.	A pronação da subtalar foi mensurada pelo Teste de Queda do Navicular; A cinemática da aterrissagem do salto foi mensurada por análise do movimento tridimensional; O pico vertical da Força de reação do solo foi mensurado através da plataforma de força.	Indivíduos com SDPF apresentaram: - Queda do navicular significativamente maior. - Aumento da rotação interna do quadril na aterrissagem do salto. - Diminuição da força de reação do solo vertical.
Thijs <i>et al.</i> (2007)	Coorte prospectivo	Determinar através da avaliação da marcha se alterações na cinemática do pé são fatores de risco intrínsecos relacionados a SDPF.	84 oficiais cadetes: 65 do sexo masculino, 19 do sexo feminino.	19 anos.	Variáveis Independentes: -Foram identificadas oito áreas de pressão: calcanhar medial (H1), calcanhar lateral(H2), cabeças metatarsais de I a V (M1, M2, M3, M4, M5) e hálux (T1). Variáveis Dependentes: - Desenvolvimento de SDPF.	A plataforma de pressão plantar foi utilizada na mensuração da pressão plantar durante a marcha com os pés descalços.	Indivíduos com SDPF apresentaram: - Pressão distribuída mais lateralmente no contato inicial. - Menor tempo de pressão máxima no quarto metatarso; - Atraso na velocidade máxima da mudança de direção látero medial na fase de contato do antepé.
Beckett <i>et al.</i> (1992)	Observacional transversal.	Determinar a relação entre pronação excessiva da subtalar e lesões de LCA do joelho.	Grupo Lesão LCA: 50 indivíduos (11 do sexo fem. e 39 sexo masc.). Grupo Controle 50 indivíduos (18 do sexo fem. e 32 do sexo masc.)	Grupo Lesão LCA: 22,9 anos; Grupo Controle: 21,8 anos.	-Correlação entre Pronação excessiva da subtalar e lesão de LCA.	A pronação da subtalar foi mensurada através do Teste de Queda do Navicular.	- A queda do navicular foi maior no grupo LCA em comparação com o grupo controle.

Legenda: SDPF: Síndrome Dor Pateló-Femoral, DAJ: Dor Anterior no Joelho, LCA: Ligamento Cruzado Anterior.

Resultados em **negrito** representam achados a favor da existência de relações entre alterações na cinemática da subtalar e lesões na cadeia cinética proximal.

Resultados sem fonte em destaque representam resultados que não suportam existência de relações alterações na cinemática da subtalar e lesões na cadeia cinética proximal.

TABELA 2 – Estudos relacionados à lesões na perna (shin splints, fratura por stress)

Artigo	Tipo de Estudo	Objetivo	Amostra		Variáveis Desfecho	Avaliação	Resultados
			Numero e Gênero	Média de Idade			
Reinking & Hayes (2006)	Observacional Transversal	Comparar fatores estruturais como a pronação da subtalar entre corredores com história de DPRE e atletas sem DPRE.	Sessenta e três atletas corredores de dois times universitários. 30 homens (48%) e 33 mulheres (52%), Grupo Amostral: 33 indivíduos; Grupo Controle: 30 indivíduos.	Grupo Amostral (DPRE): 19,3 anos; Grupo Controle: 19,5 anos.	-Correlação entre pronação da subtalar e DPRE. -Presença de DPRE.	A pronação da subtalar foi mensurada pelo Teste de Queda do Navicular e através da divisão da queda do navicular (mm) pelo comprimento do 1º raio (mm).	-Não foi encontrada correlação significativa entre pronação do pé e DPRE.
Hetsroni <i>et al.</i> (2008)	Observacional Prospectivo	Determinar se alterações na biomecânica do pé são fatores de risco para o desenvolvimento de fratura por <i>stress</i> tibial e femoral.	473 recrutas do sexo masculino.	Média não especificada.	Variáveis independentes: - Ângulo máximo da pronação; - ADM da pronação; - Tempo para pronação máxima; - Velocidade média angular da pronação; - Duração da pronada do pé. Variáveis Dependentes: - Desenvolvimento de fratura por <i>stress</i> de tibia e/ou fêmur.	A cinemática da subtalar foi mensurada através de sistema de análise do movimento com a utilização de câmera de vídeo e marcadores reflexíveis.	-Longo tempo de pronação foi associado com redução do risco de desenvolver fratura por <i>stress</i> na tibia e fêmur em ambos os membros inferiores.

Raissi <i>et al.</i> (2009)	Coorte Prospectivo.	Determinar se a pronação da subtalar está relacionada com a ocorrência de SSTM em atletas não profissionais.	66 atletas não profissionais: 21 do sexo masculino e 45 do sexo feminino.	20 anos \pm 1.5	Variável Independente: - Presença de pronação da subtalar. Variável dependente: - Ocorrência de SSTM.	A pronação da subtalar foi mensurada através do Teste de Queda do Navicular.	-Foi encontrado queda do navicular significativamente maior nos atletas que desenvolveram SSTM.
--------------------------------	------------------------	--	--	-------------------	--	--	--

Legenda: DPRE: Dor na Perna Relacionada ao Exercício, ADM: Amplitude de movimento, SSTM: Síndrome do *Stress* Tibial Medial.

Resultados em **negrito** representam achados a favor da existência de relações entre alterações na cinemática da subtalar e lesões na cadeia cinética proximal.

Resultados sem fonte em destaque representam resultados que não suportam existência de relações alterações na cinemática da subtalar e lesões na cadeia cinética proximal.

TABELA 3 – Estudos relacionados à Coluna Vertebral

Artigo	Tipo de Estudo	Objetivo	Amostra		Variáveis Desfecho	Avaliação	Resultados
			Numero e Gênero	Média de Idade			
Brantingham <i>et al.</i> (2006)	Observacional transversal	Avaliar na posição estática, se a pronação do pé está associada com a ocorrência de DLC.	Grupo DLC: 100 indivíduos (68% sexo fem. e 32% sexo masc.). Grupo Controle: 104 ausência de DLC (39% sexo fem. e 61% sexo masc.).	Idades entre 18 e 45 anos. Grupo DLC: 31,23 anos e Grupo Controle: 28,82 anos.	-Correlação entre pronação da subtalar e DLC.	A pronação da subtalar foi mensurada através do Teste de Queda do Navicular.	-O Grupo de DLC apresentou queda do navicular significativamente menor em comparação com o Grupo Controle.

Legenda: DLC: Dor Lombar Crônica.

Resultados em **negrito** representam achados a favor da existência de relações entre alterações na cinemática da subtalar e lesões na cadeia cinética proximal.

Resultados sem fonte em destaque representam resultados que não suportam existência de relações alterações na cinemática da subtalar e lesões na cadeia cinética proximal.