

Camila Proença Rocha

ALTERAÇÕES DA CINEMÁTICA E CINÉTICA RELACIONADAS A PRESSÃO
PLANTAR DO COMPLEXO TORNOZELO-PÉ ASSOCIADA A LESÕES EM
CORREDORES- REVISÃO DA LITERATURA

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2011

Camila Proença Rocha

ALTERAÇÕES DA CINEMÁTICA E CINÉTICA RELACIONADAS A PRESSÃO
PLANTAR DO COMPLEXO TORNOZELO-PÉ ASSOCIADA A LESÕES EM
CORREDORES- REVISÃO DA LITERATURA

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

Orientador: Thiago Ribeiro Teles dos Santos

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2011

R672a Rocha, Camila Proença

2011 Alterações da cinemática e cinética relacionadas a pressão plantar do complexo tornozelo-pé associada a lesões em corredores- Revisão da Literatura. [manuscrito] / Camila Proença Rocha. –

2011.

21 f., enc.:il.

Orientador: Thiago Ribeiro Teles dos Santos

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 20-21

1. Biomecânica. 2. Pés. 3. Tornozelos. 4. Pronação. 4. Corridas. I. Santos, Thiago Ribeiro Teles dos. 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.

RESUMO

Introdução: Nos Estados Unidos estima-se que 30 milhões de americanos são corredores recreacionais e a cada ano entre 25% a 50% vão se lesionar o bastante para causar uma mudança no desempenho ou na prática do esporte. A maior parte das lesões em corredores ocorre em membros inferiores, e geralmente alterações do padrão de movimento do complexo tornozelo e pé estão associadas com o desenvolvimento de lesão. Desse modo, as lesões em corredores possuem características multifatoriais e a identificação de fatores causais é de extrema importância para prevenir e tratar lesões. **Objetivo:** Realizar uma revisão sobre as alterações da cinemática e cinética relacionadas a pressão plantar do complexo tornozelo e pé associada a lesões em corredores. **Metodologia:** Para a elaboração do estudo foram utilizados estudos na língua inglesa e portuguesa e foram incluídos estudos que investigaram características da cinemática do tornozelo-pé e cinéticas relacionadas a análise de pressão plantar em corredores associadas com lesões esportivas. **Resultado:** A busca literária resultou em um total de sete artigos, sendo que as lesões mais comumente encontradas na corrida foram a síndrome dor patelofemoral, fratura por estresse da tíbia, fratura por estresse do segundo e terceiro metatarso e tendinopatia do tendão de Aquiles. As principais alterações da cinemática relacionadas ao surgimento de lesão foram: maior pico de eversão do retropé, adução de quadril, flexão do joelho e rotação medial do joelho, e as alterações da cinética relacionadas a pressão plantar foram: força plantar no retropé mais deslocada lateralmente durante o choque de calcanhar e sobre o segundo e terceiro metatarso durante a fase de resposta a carga, em comparação com os corredores que não desenvolveram lesão. **Conclusão:** É importante que o fisioterapeuta tenha o conhecimento da biomecânica normal da corrida para identificar as alterações na cinemática de cada paciente e as principais lesões que seu atleta estará exposto. Estudos mais aprofundados na área de prevenção de lesões em corredores devem ser realizados, uma vez que, é um esporte que está sendo muito praticado pela população.

Palavras-chave: corrida, pronação, eversão, lesões na corrida, biomecânica da corrida.

ABSTRACT

Introduction: In the U.S. it is estimated that 30 million Americans are recreational runners and each year from 25% to 50% will get injured enough to cause a change in performance or sport. Most injuries in runners occur in the lower limbs, and usually changes the pattern of motion of the ankle and foot complex are associated with the development of injury. Thus, injuries in runners are multifactorial and the identification of causal factors is extremely important to prevent and treat injuries. **Objective:** To review the changes on the kinematics and kinetics related to plantar pressure of the complex associated with ankle and foot injuries in runners. **Methodology:** For the survey study were used in English and Portuguese and included studies that investigated characteristics of the ankle-foot kinematics and kinetics related to analysis of plantar pressure in corridors associated with sports injuries. **Results:** The literature search result a total of seven articles, and injuries most commonly found in the race were patellofemoral pain syndrome, stress fracture of the tibia, stress fracture of the second and third metatarsal and Achilles tendinopathy. The main changes related to the emergence of the kinematics of injury were greater peak rearfoot eversion, hip adduction, knee flexion and medial rotation of the knee, and changes the kinetics related to plantar pressure were rearfoot plantar force in more laterally displaced shock during the heel and on the second and third metatarsal during the response to load, compared with runners who did not develop lesions. **Conclusion:** It is important that the therapist has knowledge of the normal biomechanics of the race to identify changes in the kinematics of each patient and major injuries that your athlete will be exposed. Further studies in the area of injury prevention for runners should be performed, since it is a sport that is being widely practiced by the population.

Key- words: running, pronation, eversion, injury in the running and biomechanics of running

SUMÁRIO

1. Introdução	05
2. Metodologia	07
3. Resultados	08
4. Discussão	13
5. Referencias	20

1 INTRODUÇÃO

Devido à fácil acessibilidade, a corrida está sendo praticada por muitas pessoas e ficando cada vez mais popular (THIJS et al., 2008). Nos Estados Unidos estima-se que 30 milhões de americanos são corredores recreacionais (BISCHOF et al., 2010). A cada ano entre 25% e 50% de corredores vão se lesionar o bastante para causar uma mudança no desempenho ou na prática do esporte (NOVACHECK, 1998), sendo que a maior parte dessas lesões ocorre em membros inferiores. Características cinemáticas do complexo tornozelo e pé estão associadas com o desenvolvimento de lesões em membros inferiores (HINTERMANN; NIGG, 1998). Dessa forma, devido ao número crescente de corredores, a compreensão das características do complexo tornozelo-pé nessa população se faz necessária para o planejamento de medidas preventivas, assim como de reabilitação de lesões.

A lesão ocorre quando a transferência de energia para o corpo excede em quantidades e taxas para o corpo humano gerando assim um dano tecidual (MEEUWISSE et al., 2007). Alterações no padrão de movimento de membros inferiores podem favorecer mecanismos compensatórios que aumentam a susceptibilidade do corredor a lesão (NOVACHECK, 1998; WILLIAMS et al., 2001) Os fatores que estão mais associados à lesão em corredores incluem anormalidades anatômicas e biomecânicas, alteração da flexibilidade e da força, tipo de tênis e/ou uso de órtese e tipo de superfície de contato (HINTERMANN; NIGG, 1998). As lesões mais comumente encontradas em corredores são a síndrome da dor patelofemoral (THIJS et al., 2008), fratura por estresse da tíbia (POHL et al., 2008), fratura por estresse do segundo e terceiro metatarso (BISCHOF et al., 2010), síndrome da banda iliotibial (MILLER et al., 2007) e tendinopatia do tendão de Aquiles (GINCKEL et al., 2009). Desse modo, as lesões em corredores possuem uma característica multifatorial e a identificação dos fatores causais é de extrema importância para prevenir e tratar essas lesões.

Em corredores que apresentam anormalidades anatômicas e/ou biomecânicas é muito comum encontrar uma pronação ou supinação excessiva do pé, sendo que essas alterações levam a uma compensação em cadeia por todo o corpo (WILLIAMS et al., 2001). Uma pronação excessiva do pé pode levar a uma rotação medial excessiva da tíbia podendo gerar um estresse em rotação anormal em estruturas musculoesqueléticas como, por exemplo, no joelho, aumentando a predisposição a lesões por *overuse* como a síndrome da dor patelofemoral (MCCLAY; MANAL, 1998). A postura do pé também pode influenciar o alinhamento pélvico e conseqüentemente, o alinhamento da coluna, uma vez que uma

pronação da articulação subtalar é caracterizada por uma adução e flexão plantar do tálus e uma eversão do calcâneo (PINTO et al., 2008). Essa adução do tálus leva a uma rotação medial do membro inferior, e a eversão do calcâneo associada com a flexão plantar do tálus leva a uma redução funcional no comprimento do membro inferior, podendo gerar assim um desalinhamento pélvico e conseqüentemente uma dor na coluna lombar (NOVACHECK, 1998; PINTO et al., 2008; WILLIAMS et al., 2001). As lesões por *overuse* acontecem também em pessoas que tem uma supinação excessiva (MCCLAY; MANAL, 1998). A supinação excessiva acontece muitas vezes secundariamente a um varismo de antepé e/ou retropé (TIBERIO, 1988). Um dos efeitos da pisada supinada é que o pé não alcança uma mobilidade necessária para a absorção de choque, e essa alteração modifica a absorção de choque pelo joelho (TIBERIO, 1988). A pronação limitada acarreta uma diminuição da rotação medial do joelho forçando a articulação a gerar uma flexão. Essa flexão gera um atraso na fase de apoio fazendo com que o corpo tenha que gerar mais força para progredir o membro inferior à frente (TIBERIO, 1988). Essa alteração pode deixar o indivíduo mais susceptível a ter uma dor patelofemoral ou sacral e até mesmo uma dor na coluna lombar (TIBERIO, 1988) Assim, alterações na biomecânica do tornozelo e pé podem gerar alterações em todo o corpo, principalmente nos membros inferiores e aumentar a susceptibilidade ao desenvolvimento de lesões.

A biomecânica do complexo tornozelo-pé em corredores é um assunto amplamente investigado na literatura, principalmente nos últimos anos. Contudo, os estudos apresentam uma variedade de formas de investigação, sendo que muitos resultados apresentam-se de forma contraditória na literatura. Além disso, a corrida é uma modalidade esportiva que está sendo muito praticada pela população e dado a alta frequência de corredores com lesões associada aos transtornos gerados no dia-a-dia para o atleta, é de extrema importância a identificação dos fatores que predisõem o indivíduo a lesão. A identificação desses fatores pode facilitar a tomada de decisão clínica pelo fisioterapeuta na prevenção e tratamento de lesões em corredores. Dessa forma, este estudo tem como objetivo revisar as características cinemáticas do complexo tornozelo-pé e cinéticas relacionadas a análise de pressão plantar associadas com lesões em corredores.

2 METODOLOGIA

Para a elaboração do estudo foi realizada uma revisão de artigos publicados nas línguas portuguesa e inglesa sem restrição quanto ao ano de publicação. Os artigos foram identificados por meio de pesquisa eletrônica realizada nas seguintes bases de dados: PubMed, SciELO, BIREME, LILACS e PEDro. Os descritores utilizados para a busca incluíram as palavras pronação, eversão, corrida, lesões na corrida, pronação na corrida, eversão na corrida e os seus correlatos em língua inglesa: *pronation, eversion, running, injury in running, pronation in running, eversion in running*. A busca literária foi realizada no período entre junho a outubro de 2011. Além da busca eletrônica foi realizada uma pesquisa manual independente nas referências dos artigos selecionados. A seleção dos artigos foi feita a partir da leitura do título e do resumo e foram incluídos estudos que investigaram características da cinemática do tornozelo-pé e cinéticas relacionadas a análise de pressão plantar em corredores associadas com lesões esportivas.

3 RESULTADOS

A partir da leitura dos resumos, a busca literária resultou em um total de nove artigos para serem verificados. Dois artigos foram excluídos, pois a amostra não era composta por corredores. Assim, foram utilizados sete artigos para esta revisão. O Quadro 1 descreve as características da amostra e as variáveis avaliadas selecionadas de cada artigo. Os principais instrumentos de avaliação utilizados pelos estudos foram plataforma de força e sistema de análise de movimento tri-dimensional.

Dois estudos transversais avaliaram corredores que apresentavam história de fratura por estresse da tíbia e encontraram uma maior excursão da eversão do retropé e adução de quadril em toda a fase de apoio (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010; POHL et al, 2008). Milner, Hamill e Davis (2010) identificaram um pico de eversão do retropé em corredores com história de fratura por estresse da tíbia de $11,7^\circ \pm 4,2^\circ$ em aproximadamente 60% da fase de apoio e em corredores saudáveis $9,0^\circ \pm 3,9^\circ$ em aproximadamente 55% da fase de apoio. Nesse mesmo estudo, o pico de adução do quadril em corredores com história de fratura por estresse foi de $11,6^\circ \pm 5,0^\circ$ em aproximadamente 60% da fase de apoio e em corredores saudáveis de $8,1^\circ \pm 3,7^\circ$ em aproximadamente 50% da fase de apoio (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010). Além disso, o pico de rotação medial da tíbia e do quadril, rotação medial e adução do joelho foram semelhantes entre os grupos com e sem lesão (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010). Pohl et al (2008) encontraram valores similares: pico de eversão do retropé de $11,5^\circ \pm 4,3^\circ$ em aproximadamente 60% da fase de apoio *versus* $8,8^\circ \pm 4,1^\circ$ em aproximadamente 50% da fase de apoio e de adução do quadril de $11,7^\circ \pm 5,0^\circ$ *versus* $7,7^\circ \pm 3,8^\circ$, ambos no meio da fase de apoio em corredores com história de fratura por estresse e para os saudáveis, respectivamente. Nesse estudo, o pico de rotação medial do joelho foi significativo, em que o valor angular foi maior no grupo com história de fratura por estresse da tíbia ($3,7^\circ \pm 5,1^\circ$) em comparação ao grupo de corredores saudáveis ($2,6^\circ \pm 6,8^\circ$), mas essa variável não foi considerada como preditiva da lesão (POHL et al, 2008). Além disso, não houve diferença entre os grupos com e sem lesão para o pico de adução do joelho (POHL et al, 2008).

Um estudo transversal investigou corredoras com fratura por estresse do segundo e terceiro metatarso e não encontrou alterações significativas entre o grupo controle e o com fratura nas variáveis cinemáticas avaliadas: pico de inversão/eversão do retropé rotação

medial/lateral da tíbia (BISCHOF et al, 2010). A avaliação do tipo de pé encontrou no grupo com fratura quatro corredoras com pé esquerdo cavo e nove com pé esquerdo normal, e no pé direito duas corredoras com pé cavo e onze com pé normal (BISCHOF et al, 2010). Já no grupo que não apresentava fratura foi encontrada somente uma corredora com o pé plano bilateralmente (BISCHOF et al, 2010).

Um estudo coorte avaliou o surgimento de lesões por *overuse* em corredores novatos, após dez semanas de treinamento (GINCKEL et al, 2009). Ao final do treinamento foram encontrados 32% de lesões no joelho, 15,9% na canela e 14,5% tendinopatias de Aquiles (GINCKEL et al, 2009). Observou-se que uma distribuição da força plantar deslocada mais lateralmente no choque de calcanhar até chegar a fase de resposta a carga era fator preditivo para o desenvolvimento de tendinopatia de Aquiles (GINCKEL et al, 2009). Além disso, os corredores que desenvolveram tendinopatia possuíam no início do estudo baixa força plantar sob a região medial do calcanhar no contato inicial, o que indica que o retropé estava com pouca pronação nessa fase da corrida (GINCKEL et al, 2009). Enquanto que na fase de resposta a carga, esses corredores possuíam uma maior distribuição de força plantar na região medial do antepé, sugerindo assim um aumento da pronação do antepé nesse momento (GINCKEL et al, 2009). Além do mais, o grupo que desenvolveu a lesão apresentou o centro de força pouco deslocado anteriormente indicando uma menor flexão plantar na fase de propulsão (GINCKEL et al, 2009).

Outro estudo coorte avaliou corredores novatos que desenvolveram síndrome da dor patelofemoral durante dez semanas de um programa de treinamento (THIJS et al, 2008). Os corredores que desenvolveram a síndrome da dor patelofemoral apresentavam no início do estudo um pico de força vertical sobre o segundo ($366,44 \pm 121,94$ N) e terceiro metatarso ($308,06 \pm 69,43$ N) e sobre a região lateral do retropé ($514,68 \pm 255,78$ N) maior do que o grupo que não desenvolveu a síndrome (2° metatarso: $286,97 \pm 122,25$ N; 3° metatarso: $245,77 \pm 109,12$ N e lateral do retropé: $402,46 \pm 218,63$ N) (THIJS et al, 2008). Além disso, os corredores que desenvolveram a síndrome apresentavam menor tempo do pico de força vertical embaixo da região lateral e medial do calcanhar em relação ao tempo total de contato do pé do que no grupo de corredores que não apresentou a síndrome (THIJS et al, 2008). O grupo que desenvolveu a síndrome foi caracterizado por 52,9% de pés normais, 35,3% de pés pronados, e 11,8% de pés supinados, já no grupo sem a lesão a distribuição foi de 58,3% de pés normais, 26,2% de pés pronados, 8,3% de pés supinados e os outros 7,2% representavam pés muito supinados ou pronados (THIJS et al, 2008).

Um estudo transversal que avaliou corredores com pronação excessiva encontrou maior pico de eversão do retropé ($21,2^\circ \pm 4,8^\circ$) em aproximadamente 30% da fase de apoio, nesses corredores quando comparados ao grupo sem pronação excessiva ($11,2^\circ \pm 2,7^\circ$), cujo pico ocorreu em 40% da fase de apoio (MCCLAY, MANAL, 1998). Além disso, em corredores com pronação excessiva, o choque de calcanhar acontece com o retropé mais evertido ($8,5^\circ \pm 5,4^\circ$) e no grupo sem pronação excessiva o choque de calcanhar acontece com o pé levemente invertido ($1,7^\circ \pm 4,5^\circ$) (MCCLAY, MANAL, 1998). Foi encontrado também, que o grupo com pronação excessiva apresentou maior pico de flexão do joelho ($43,3^\circ \pm 3,6^\circ$ *versus* $37,4^\circ \pm 7,3^\circ$) que ocorreu em aproximadamente 45% da fase de apoio em ambos os grupos. O pico de adução do joelho foi menor e mais antecipado no grupo com pronação excessiva ($2,6^\circ \pm 3,4^\circ$ *versus* $9,5^\circ \pm 6,0^\circ$) e ocorreu mais tardiamente na fase de apoio (aproximadamente 38% *versus* 25%) (MCCLAY, MANAL, 1998). O grupo com pronação excessiva apresentou ainda menor excursão da adução do joelho ($4,8^\circ \pm 2,6^\circ$ *versus* $8,3^\circ \pm 2,3^\circ$), maior excursão de rotação medial do joelho ($10,7^\circ \pm 5,4^\circ$ *versus* $8,9^\circ \pm 2,6^\circ$) e dorsiflexão do tornozelo ($18,7^\circ \pm 3,8^\circ$ *versus* $16,5^\circ \pm 2,7^\circ$) (MCCLAY, MANAL, 1998). A incidência de lesão musculoesquelética foi maior no grupo com pronação excessiva, com um total de 69%, sendo tendinite patelar, tendinite de Aquiles, *shin splints*, lesão ligamentar do joelho e entorse de tornozelo, sendo que essas foram as principais lesões (MCCLAY, MANAL, 1998).

Outro estudo transversal avaliou a cinemática de corredores com arco plantar baixo e arco plantar alto (WILLIAMS et al, 2001). Observou-se que corredores com o arco plantar baixo apresentam maior pico de eversão do retropé/rotação medial da tíbia ($1,71^\circ \pm 0,92^\circ$ *versus* $1,29^\circ \pm 0,40^\circ$), que ocorreu em aproximadamente 50% da fase de apoio em ambos os grupos, do que corredores com o arco plantar mais alto (WILLIAMS et al, 2001). Além disso, os corredores com arco plantar baixo exibiram maior pico de flexão de joelho ($49,19^\circ \pm 5,54^\circ$ *versus* $46,48^\circ \pm 4,08^\circ$) e maior excursão da eversão do retropé ($13,96^\circ \pm 3,63^\circ$ *versus* $11,90^\circ \pm 3,73^\circ$) do que os com o arco plantar alto (WILLIAMS et al, 2001). O grupo com o arco plantar alto apresentou maior força vertical (WILLIAMS et al, 2001). Foi encontrado também, que o fêmur em relação à tíbia é mais rodado medialmente no grupo com arco plantar baixo, produzindo maior rotação lateral do joelho durante a metade da fase de apoio (WILLIAMS et al, 2001). As principais lesões encontradas no grupo de arco plantar baixo e arco plantar alto foram lesões de tecidos moles (56% *versus* 42%), pé/tornozelo (24% *versus* 33%), joelho (20% *versus* 11%) e lesão óssea (7% *versus* 14%) (WILLIAMS et al, 2001).

QUADRO 1

Características das amostras e das variáveis avaliadas dos estudos selecionados

AUTOR/ANO	TIPO DE ESTUDO	AMOSTRA	VARIÁVEIS
Bischof et al., 2010	Transversal	24 mulheres corredoras fisicamente ativas, divididas em dois grupos: 9 corredoras com fratura por estresse prévia do segundo e terceiro metatarso ($24,4 \pm 6,24$ anos; $1,73 \pm 0,06$ m; $70,1 \pm 8,69$ kg; $29,50 \pm 19,45$ km) e 15 corredoras no grupo controle ($22,07 \pm 3,41$ anos; $1,65 \pm 0,08$ m; $58,63 \pm 6,75$ kg; $35,72 \pm 17,72$ km).	<ul style="list-style-type: none"> - Pico de inversão/eversão do retropé; - Pico de rotação medial e lateral da tibia; - Tipo de pé (pé plano ou pé cavo).
Milner, Hamill, Davis, 2010	Transversal	54 mulheres corredoras divididas em dois grupos: 28 corredoras com história de fratura por estresse na tibia (28 ± 10 anos; $57,1 \pm 5,9$ Kg; $1,65 \pm 0,05$ m; 43 ± 12 km) e 26 corredoras no grupo controle (26 ± 9 anos; $59,8 \pm 6,0$ Kg; $1,64 \pm 0,06$ m; 46 ± 21 km).	<ul style="list-style-type: none"> - Pico de eversão do retropé; - Pico de rotação medial da tibia; - Pico de adução do joelho; - Pico de rotação medial do joelho; - Pico de adução do quadril; - Pico de rotação medial do quadril.
Ginckel et al., 2009	Coorte	63 corredores novatos: 53 corredores não desenvolveram nenhuma lesão ($40 \pm 9,0$ anos; $1,68 \pm 0,08$ m; $69,95 \pm 12,05$ Kg) e 10 desenvolveram tendinopatia do tendão de Aquiles ($38 \pm 11,35$ anos; $1,67 \pm 0,06$ m; $68,80 \pm 12,87$ Kg).	<ul style="list-style-type: none"> - Registro de lesão; - Distribuição da força plantar e do centro de força durante a fase de apoio; - Período em que realiza o contato inicial e a retirada do pé; - Tempo de contato da região medial elateral do calcâneo; do primeiro ao quinto metatarso e do hálux nos instantes do rolamento do pé.

QUADRO 1 (*Continuação*)

Características das amostras e das variáveis avaliadas dos estudos selecionados

AUTOR/ANO	TIPO DE ESTUDO	AMOSTRA	VARIÁVEIS
Pohl, et al, 2008	Transversal	60 mulheres corredoras divididas em dois grupos: 30 corredoras com historia de fratura por estresse na tíbia (28 ± 10 anos; $1,65 \pm 0,06$ m; $56,6 \pm 5,6$ kg; 41 ± 11 km) e 30 corredoras no grupo controle (25 ± 9 anos; $1,65 \pm 0,06$ m; $59,8 \pm 5,8$ kg; 39 ± 14 km).	- Pico de eversão do retropé; - Pico de rotação medial do joelho; - Pico de adução do joelho e de adução do quadril;
Thijsetal, 2008	Coorte	102 corredores novatos: 17 corredores desenvolveram síndrome da dor patelofemoral durante as 10 semanas de treinamento ($39,4 \pm 10,3$ anos; $1,64 \pm 2,6$ m; $69,3 \pm 8,1$ kg), 85 não desenvolveram a síndrome da dor patelofemoral ($37,6 \pm 9,4$ anos; $1,67 \pm 0,07$ m; $69,3 \pm 15,8$ kg).	- Tempo em que a região medial e lateral do calcanhar; do primeiro ao quinto metatarso e do hálux permanecem e perdem contato com o chão; - Pico de força vertical; - Tipo de pé (neuro, pronado, muito pronado, supinado e muito supinado) avaliado por meio da pressão plantar.
Williams et al, 2001	Transversal	40 corredores com $27,8 \pm 8,1$ anos, divididos em dois grupos: 20 corredores com arco plantar alto ($1,72 \pm 0,51$ m; $66,45 \pm 0,81$ kg) e 20 corredores com arco plantar baixo ($1,74 \pm 0,51$ m; peso $72,1 \pm 0,18$ kg).	- Eversão do retropé/rotação medial da tíbia; - Excursão da eversão do retropé; - Carga vertical; - Pico de flexão de joelho. - Registro de lesão.
Mcclay, Manal, 1998	Transversal	18 corredores recreacionais voluntários com 18 a 45 anos, divididos em dois grupos: 9 corredores com pronação excessiva e 9 corredores sem pronação excessiva.	- Pico e excursão de dorsiflexão, eversão nos primeiros 60% da fase de apoio; - Pico e excursão de flexão, adução e rotação medial do joelho nos primeiros 60% da fase de apoio; - Registro de lesão.

Legenda: Características da amostra apresentadas em média \pm desvio padrão de idade (anos), altura (m), massa corporal (Kg) e distância semanal percorrida (Km).

4 DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi revisar as características cinemáticas do complexo tornozelo-pé e cinéticas relacionadas a análise de pressão plantar associadas com lesões em corredores. A partir disso, a maioria dos estudos selecionados foram estudos transversais, que investigaram a associação das alterações cinemáticas e cinéticas relacionadas a pressão plantar em corredores com fratura por estresse da tíbia, fratura por estresse do segundo e terceiro metatarso, síndrome da dor patelofemoral, tendinopatia do tendão de Aquiles, pronação excessiva e diferenças na altura do arco plantar.

Em corredores, são encontradas algumas lesões agudas como entorses de tornozelo e fratura, mas a maioria das lesões é por *overuse* (HRELJAC, 2005). Esse tipo de lesão é caracterizado por uma agressão ao sistema musculoesquelético resultando em um efeito combinado de fadiga por um longo período de tempo acima da capacidade de superação da estrutura acometida (HRELJAC, 2005). Essa lesão acontece quando cargas repetitivas são aplicadas a uma estrutura (exemplo: músculos e tendões), sendo que o limiar dessa força é menor do que em uma lesão aguda. A curva ilustrativa (FIG. 1) de *stress*-frequência mostra o número de repetições de um *stress* aplicado em uma região qualquer e o potencial de lesão gerado. Essa curva mostra que quanto maior for a frequência do estímulo nocivo aplicado, menor será o *stress* para gerar uma lesão (HRELJAC, 2005). Isso mostra que uma alteração do padrão de movimento dos membros inferiores em corredores pode levar a uma alteração de distribuição de carga no corpo, sobrecarregando mais uma região do que outra, aumentando o potencial de lesão (NOVACHECK, 1998; WILLIAMS et al.,2001).

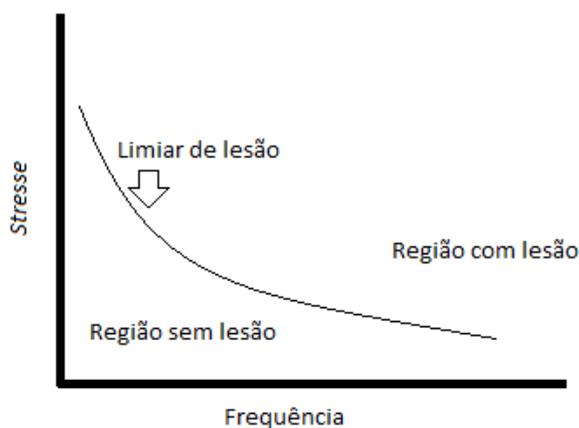


FIGURA 1 - Curva *stress*-frequência e limiar de lesão

Fonte: HRELJAC, 2005

A fratura por *stress* da tíbia é considerada uma lesão por *overuse* que é comumente encontrada em corredores e está diretamente ligada a alterações na cinemática dos membros inferiores (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010; POHL et al, 2008). Os estudos que avaliaram a fratura por *stress* da tíbia encontraram que uma maior excursão da eversão do retropé e adução de quadril são fatores preditivos da lesão (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010; POHL et al, 2008). Isso pode ser explicado uma vez que, uma maior eversão do retropé leva a rotação excessiva da tíbia e do fêmur, gerando adaptações teciduais como redução da rigidez do quadril e sobrecarga por ativação excessiva do tibial posterior (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010; POHL et al, 2008). Sabe-se que o músculo tibial posterior atravessa a região medial da tíbia e do tornozelo, podendo reduzir o esforço de rotação medial da tíbia, além disso, ele pode atuar no controle da eversão do retropé (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010). Os rotadores externos do quadril também tem um papel importante na sustentação da eversão do retropé, quando estão agindo corretamente reduzem a rotação medial associada com uma adução do quadril, gerando uma maior sustentação da eversão (FREDERICSON, 2000; MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010). O aumento da demanda do tibial posterior acontece em corredores com uma eversão excessiva do retropé e ou com uma fraqueza de rotadores externos do quadril, isso pode resultar em uma fadiga muscular antecipada desse músculo, diminuindo a função do tibial posterior em reduzir a rotação medial da tíbia (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010). Então, o treinamento com a musculatura fadigada leva a um aumento da carga tênsil na região medial da tíbia podendo levar então a uma fratura por *stress* da tíbia (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010). Uma maior excursão de adução de quadril pode ser explicada pelo excesso de eversão do retropé ou a maior adução de quadril pode levar a maior eversão do retropé (POHL et al, 2008). O aumento da adução do quadril pode estar associado com o deslocamento lateral da carga axial sobre o joelho. Isso pode resultar em uma compressão na região lateral do côndilo tibial criando um maior *stress* tênsil no lado medial do osso ocasionando a fratura por *stress* (MILNER, HAMILL, DAVIS, 2010).

Outro tipo de fratura por *stress* encontrada em corredores ocorre na região metatarsal, e acontece principalmente em mulheres. BISCHOF et al (2010) avaliaram corredoras com história de fratura por estresse no 2° e 3° metatarso e o resultado desse estudo não encontrou diferenças cinemáticas significativas (pico de inversão/eversão do retropé e rotação medial/lateral da tíbia) entre o grupo com fratura por estresse e o grupo assintomático. Esse resultado não foi esperado pelos autores uma vez que uma das hipóteses é que pessoas que apresentam fratura por estresse do 2° e 3° metatarso provavelmente tem maior pico de eversão

e maior força vertical (BISCHOF et al, 2010). MILNER, HAMILL, DAVIS (2005) considera que 83% dos indivíduos que tem esse tipo de fratura apresentam um pico de adução do quadril e uma excursão da eversão do retropé aumentada. Uma das hipóteses levantada pelos autores pela falta de diferença entre os grupos foi que os indivíduos com lesão podem alterar a cinemática para diminuir a sobrecarga sobre a região lesionada (BISCHOF et al, 2010). A literatura a cerca desse tema ainda é contraditória, sendo necessárias mais pesquisas sobre os fatores preditivos desse tipo de lesão.

A tendinopatia de Aquiles é uma lesão multifatorial comumente encontrada em atletas corredores, representando de 8% a 15% de todas as lesões em corredores recreacionais (MUNTEANU, BARTON, 2011). Sabe-se que o tendão de Aquiles age para gerar energia durante a locomoção por meio do ciclo de alongamento-encurtamento, liberando energia da tensão elástica no final da fase de apoio (GINCKEL et al, 2009). Portanto, alterações nesse ciclo de aproveitamento energético podem ser uma das hipóteses para gerar dano tecidual no tendão e dessa forma, no desenvolvimento da tendinopatia (GINCKEL et al, 2009). O estudo que avaliou corredores que desenvolveram a tendinopatia de Aquiles encontrou que os corredores com a lesão apresentaram no início do estudo baixa força plantar sob a região medial do calcanhar no contato inicial (indicando que o retropé estava muito invertido nessa fase da corrida), enquanto que na fase de resposta a carga, esses corredores possuíam uma maior distribuição de força plantar na região medial do antepé (aumento da pronação do antepé nesse momento) quando comparado ao grupo sem lesão (GINCKEL et al, 2009). Foi encontrado também que o grupo que desenvolveu a lesão apresentou o centro de força pouco deslocado anteriormente indicando uma menor flexão plantar na fase de propulsão (GINCKEL et al, 2009). O surgimento da tendinopatia em corredores que tem um aumento de pronação do antepé pode ser explicada por dois motivos, o primeiro está relacionado ao fato que a pronação excessiva do antepé leva a um aumento de eversão do retropé, proporcionando forças excessivas subsequentes na porção medial do tendão (MUNTEANU, BARTON, 2011). O segundo motivo é que a pronação excessiva leva a uma movimentação sem sincronia entre pé e tornozelo durante a fase de apoio, resultando em um efeito de ‘compressão’ no tendão de Aquiles (MUNTEANU, BARTON, 2011). Esse efeito de compressão pode causar um comprometimento vascular dentro do tendão e uma elevada tensão de tração no peritendão, levando a alterações degenerativas frequentes no tendão de Aquiles (MUNTEANU, BARTON, 2011). A diminuição do deslocamento anterior do centro de força resulta em uma diminuição da flexão plantar do tornozelo gerando uma propulsão insuficiente, aumentando a sobrecarga para o músculo e para o tendão de Aquiles (GINCKEL et al, 2009).

O resultado do estudo que avaliou corredores que desenvolveram a síndrome dor patelofemoral foi um pico de força vertical excessivo sobre a região lateral do retropé no choque de calcanhar e um pico de força vertical excessivo sobre o segundo e terceiro metatarso durante a fase de propulsão no grupo que desenvolveu a síndrome (THIJS et al, 2008). A força vertical excessiva sobre a região lateral do calcanhar e sobre o segundo e terceiro metatarso perto do final da fase de propulsão, poderiam causar forças verticais superiores a serem transferidas para as articulações mais proximais, como por exemplo, o joelho (THIJS et al, 2008). Isso pode ser explicado, pois quando a força vertical é aumentada na região lateral no choque de calcanhar o retropé está mais invertido, indicando que esse corredor irá pronar excessivamente, gerando uma rotação medial na tíbia e assim o fêmur irá rodar mais medialmente do que a tíbia para permitir uma extensão do joelho, aumentando as forças na articulação patelofemoral (TIBERIO, 1988). Esse choque de maior impacto poderia causar uma carga excessiva na articulação patelofemoral que eventualmente causaria maior sobrecarga nessa articulação levando a dor patelofemoral (THIJS et al, 2008). Nesse estudo, a postura dinâmica do pé não teve alteração significativa entre os grupos (THIJS et al, 2008).

A pronação excessiva do retropé é uma alteração da cinemática que está diretamente ligada ao surgimento de lesões em corredores (MCCLAY e MANAL, 1998), sendo que aproximadamente entre 50% e 60% dos corredores com pronação excessiva vão desenvolver lesões por *overuse* (HINTERMANN, NIGG, 1998). A pronação do retropé durante a corrida é essencial, uma vez que ao realizar a descarga do peso, o retropé deve estar em pronação para uma melhor absorção de carga (RODGERS, 1988, RODGERS, 1995). A supinação também tem um papel fundamental, já que durante a fase de propulsão o retropé deve estar rígido (supinado) para impulsionar o corpo para frente, quando ocorre qualquer alteração da cinemática do pé como uma pronação ou supinação excessiva, o indivíduo fica mais suscetível ao surgimento de lesão (RODGERS, 1988, RODGERS, 1995). Quando a pronação excessiva acontece, o contato inicial do pé com o chão fica menos estável e a eficiência da retirada do pé também é menor devido a maior eversão do retropé (MCCLAY, MANAL, 1998). A pronação excessiva pode ocorrer por diversos fatores anatômicos e/ou biomecânicos, tais como, mais de 10° de tíbia vara, antepé varo, discrepância no comprimento de membros inferiores, frouxidão ligamentar, fraqueza muscular e encurtamento do músculo sóleo e gastrocnêmio (HINTERMANN, NIGG, 1998).

McClay e Manal (1998) fizeram um estudo composto por corredores com e sem pronação excessiva e avaliaram as alterações da cinemática durante a corrida, e encontraram

que pronadores excessivos tinham maior pico de eversão do retropé e flexão do joelho, menor excursão e pico de adução do joelho e maior excursão de rotação medial do joelho e dorsiflexão do tornozelo. As principais lesões encontradas nos pronadores excessivos foram tendinite patelar, tendinite de Aquiles, *shin splints*, lesão ligamentar do joelho e entorse de tornozelo. Durante a corrida, quando a eversão do retropé acontece, o tálus gera na tíbia uma rotação medial. Ao mesmo tempo desde o contato inicial até o apoio médio, a pelve roda lateralmente em relação à perna de suporte, que está iniciando a rotação lateral do fêmur (HINTERMANN, NIGG, 1998). Como os dois movimentos são de direções opostas, a transferência direta de movimento não pode ser realizada entre o calcâneo e a pelve (HINTERMANN, NIGG, 1998). A transferência substancial do movimento de eversão do calcâneo para a tíbia (FIG. 2) pode, no entanto, ser associado com um aumento de rotação medial do joelho, levando a um *stress* por sobrecarga na articulação e estruturas que o suportam, como por exemplo, o ligamento colateral medial do joelho e até mesmo a articulação patelofemoral (HINTERMANN, NIGG, 1998, MCCLAY, MANAL, 1998). A flexão do joelho e a pronação do pé normalmente acontecem em conjunto para atenuar o impacto. Com o aumento da flexão do joelho a carga compressiva na articulação patelofemoral aumenta (MCCLAY, MANAL, 1998). Quando isso é associado com uma alteração de contato da articulação patelofemoral, poderia colocar o corredor em risco para o desenvolvimento da síndrome da dor patelofemoral, que normalmente está associada com uma pronação excessiva.

A diminuição da excursão de adução do joelho acontece devido à existência de uma pronação excessiva, isso leva a uma postura de maior valgismo dessa articulação (MCCLAY, MANAL, 1998). As tendinopatias mais comuns encontradas em corredores que apresentam uma pronação excessiva são: tendinopatia patelar, do tibial posterior e do tendão de Aquiles. Isso acontece, pois durante o início da fase de apoio na marcha o músculo quadríceps trabalha excentricamente para controlar a flexão do joelho, o tibial posterior pode agir para desacelerar a pronação e o gastrocnêmio para controlar a anteriorização da tíbia sobre o pé (MCCLAY, MANAL, 1998). Com um aumento da velocidade angular esses músculos podem tornar-se sobrecarregados na tentativa de controlar o pé e o joelho, resultando em uma lesão por esforço, como uma tendinite (MCCLAY, MANAL, 1998). No estudo de McClay e Manal (1998), os corredores que tinham tendinopatia patelar apresentavam maior velocidade no pico de flexão de joelho, e os corredores que tinham um histórico de tendinopatia de Aquiles apresentavam maior velocidade de dorsoflexão.

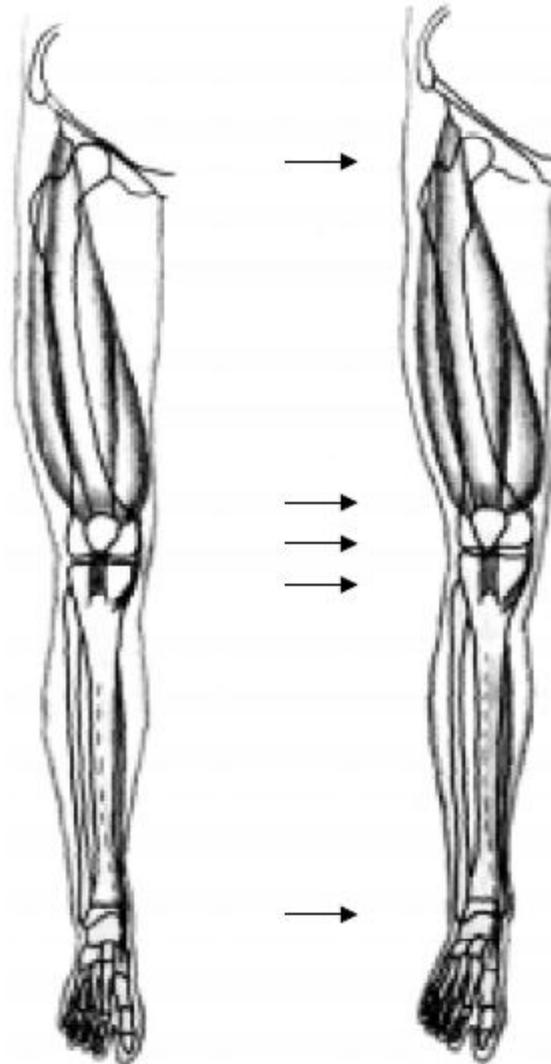


FIG.2 - Pronação excessiva induz a um aumento da compensação de rotação medial da tíbia (direita) que pode resultar em um excesso de estresse no joelho. Este aumento da rotação da tíbia pode levar a efeitos mais proximais da pelve através do fêmur. A posição neutra da perna está sendo mostrado à esquerda.

Fonte: HINTERMANN, NIGG, 1998.

A altura do arco plantar é outra alteração biomecânica que está diretamente ligada ao surgimento de lesões em corredores. O estudo que comparou as alterações da cinemática em corredores com o arco plantar alto e o arco plantar baixo, encontrou maior pico de eversão do retropé/rotação medial da tíbia e de flexão de joelho, e maior excursão da eversão do retropé no grupo com o arco plantar baixo. O grupo com o arco plantar alto apresentou maior força vertical (WILLIAMS et al, 2001). O aumento significativo da eversão do retropé está associado com uma maior excursão de rotação medial da tíbia, podendo resultar em lesões de pé e tornozelo. Nesse estudo, os corredores com arco plantar baixo apresentaram maior número de lesões no joelho enquanto que em corredores com o arco plantar alto, as lesões

foram em maior quantidade em pé e tornozelo (WILLIAMS et al, 2001). O aumento da rotação lateral do joelho em corredores com o arco plantar baixo está associado com uma rotação medial da tibia, gerando no fêmur uma maior rotação medial em relação à tibia. Essa rotação medial do fêmur colocaria a patela mais lateralizada, podendo resultar no aumento da força de contato da articulação patelofemoral, levando assim ao surgimento de lesão (WILLIAMS et al, 2001). Adicionalmente, é mostrado que o aumento da translação lateral da patela está relacionado com um aumento de flexão do joelho. Como foi descrito anteriormente, a ação do músculo quadríceps é aumentada para frear a flexão do joelho, predispondo ao surgimento da síndrome da dor patelofemoral (WILLIAMS et al, 2001). O aumento da excursão da eversão do retropé pode predispor o atleta a uma tendinopatia do tendão tibial posterior, uma vez que o tibial posterior pode controlar excêntricamente a eversão do retropé (WILLIAMS et al, 2001). Em corredores com o arco plantar alto, o pico de força vertical é maior e está associado com uma maior carga tibial, aumentando a incidência de lesões ósseas como a fratura por estresse (WILLIAMS et al, 2001). O pé também recebe uma maior carga do que o resto do membro inferior no momento do contato inicial, isso explica uma maior incidência de lesões no pé e tornozelo em corredores com o arco plantar alto (WILLIAMS et al, 2001).

Os estudos selecionados por esta revisão apontam que as alterações cinemáticas e cinéticas relacionadas a pressão do complexo tornozelo e pé na corrida podem predispor a vários tipos de lesões em corredores. É de extrema importância que o fisioterapeuta tenha o conhecimento da biomecânica normal da corrida para identificar as alterações na cinemática de cada paciente e as principais lesões que seu atleta estará exposto. Sendo assim, a tomada da decisão clínica pelo fisioterapeuta será mais efetiva no processo de prevenção e tratamento de lesões em corredores.

5 REFERÊNCIAS

- BISCHOF, J. E. *et al.* Three-dimensional ankle kinematics and kinetics during running in women. **Gait and Posture**, v.31, p. 502-505, 2010.
- FREDERICSON, M. *et al.* Hip abductor weakness in distance runners with iliotibial band syndrome. **Clinical Journal of sports medicine**, v.10, p.169-175.
- GINCKEL, A. V. *et al.* Intrinsic gait-related risk factors for Achilles tendinopathy in novice runners: A prospective study. **Gait and Posture**, v. 29, p. 387- 391, 2009.
- HINTERMANN, B.; NIGG, B. M. Pronation in runners- Implications for Injuries. **Sports Medicine**, v. 26, n.3, p.169-176, 1998.
- HRELJAC, A., Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: a biomechanical prospective. **Physical medicine and rehabilitation clinics of north america**, v. 16, p. 651-667, 2005.
- MCCLAY, I., MANAL, K., A comparasion of three-dimensional lower extremity kinematics during running between excessive pronators and normals. **Clinical Biomechanics**, v. 13, n. 3, p.195-203, 2008.
- MEEUWISSE, W. H. *et al.* A dynamics model of etiology in sport injury: The recursive nature of risk and causation. **Clinical Journal of Sport Medicine**,v. 17, n. 3, 2007.
- MILLER, R. H., et al., Lower extremity mechanics of iliotibial band syndrome during a exhaustive run. **Gait e Posture**, v. 26, p. 407-413, 2007.
- MILNER C. E., HAMILL J., DAVIS I. S. Distinct hip and rearfoot kinematics in female runners with a history of tibial stress fracture. **Journal of orthopaedic and sports physical therapy**, v. 40, n. 2, 2010.

- MILNER C., HAMILL J., DAVIS I., Is dynamic hip and knee alignment associated with tibial stress fracture in runners. **Journal of Biomechanics**, n.41, p. 1160- 1165, 2005.
- MUNTEANU, S. E., BARTON C. J. Lower limb biomechanics during running in individuals with Achilles tendinopathy: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**, 2011.
- NOVACHECK, T. F. The biomechanics of running. **Gait and Posture**, v. 7, p.77-95, 1998.
- POHL, M.B. *et al.* Biomechanical predictors of retrospective tibial stress fractures in runners. **Journal of Biomechanics**, v. 41, p. 1160-1165, 2008.
- PINTO, R. Z. A. *et al.* Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. **Manual Therapy**, v.13, p. 513-519, 2008.
- RODGERS, M. M., Dynamic Biomechanics of the normal foot and ankle during walking and running. **Physical Therapy**, v. 68, n. 12, 1988.
- RODGERS, M. M., Dynamic foot biomechanics. **Journal of orthopaedic and sports physical therapy**, v.21, n.6, 1995.
- TIBERIO. Pathomechanics of Structural Foot Deformities. **Physical Therapy**, v.68, n. 12, 1988.
- THIJIS, Y., et al. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. **British Journal of Sports Medicine**, v.42, p.466-471, 2008.
- WILLIAMS, D. S. et al. Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. **Journal of applied biomechanics**, v. 17, p.153-163, 2001.