

Lincoln Augusto Rodrigues de Freitas

**RELAÇÃO DA FUNÇÃO DOS MÚSCULOS DO COMPLEXO  
TORNOZELO-PÉ COM A PRONAÇÃO-SUPINAÇÃO DA  
ARTICULAÇÃO SUBTALAR EM CADEIA CINEMÁTICA FECHADA:  
uma revisão de literatura**

Belo Horizonte  
Universidade Federal de Minas Gerais  
2012

Lincoln Augusto Rodrigues de Freitas

**RELAÇÃO DA FUNÇÃO DOS MÚSCULOS DO COMPLEXO  
TORNOZELO-PÉ COM A PRONAÇÃO-SUPINAÇÃO DA  
ARTICULAÇÃO SUBTALAR EM CADEIA CINEMÁTICA FECHADA:  
uma revisão de literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Especialização em Ortopedia  
apresentado ao Colegiado de Pós-  
Graduação em Fisioterapia da  
Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Doutor Thales Rezende de  
Souza

Belo Horizonte  
Universidade Federal de Minas Gerais

2012

R866r Freitas, Lincoln Augusto Rodrigues de  
2009 Relação da função dos músculos do complexo tornozelo-pé com a pronação-supinação da articulação subtalar em cadeia cinemática fechada: uma revisão de literatura. [manuscrito] / Lincoln Augusto Rodrigues de Freitas– 2009.  
23 f., enc.

Orientador: Thales Rezende de Souza

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.  
Bibliografia: f. 20-23

1. Tornozelos – Ferimentos e lesões. 2. Pés – Ferimentos e lesões. 3. Marcha humana. 4. Pronação (DeCS). 5. Corridas. I. Fonseca, Sérgio Teixeira da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 615.8

## Resumo

Alterações nos movimentos e postura de pronação-supinação do complexo tornozelo-pé (CTP), durante atividades realizadas em cadeia fechada como a marcha, a corrida e a postura ortostática, são frequentemente relacionadas a um aumento do risco de lesões dos membros inferiores. Fatores distais que poderiam influenciar a pronação-supinação do CTP, além dos desalinhamentos anatômicos com varismo de tibia, varismo de retropé e varismo de antepé, está a função dos músculos do CTP. Força e resistência dos músculos intrínsecos e extrínsecos do pé poderiam afetar os movimentos de pronação-supinação na articulação subtalar em cadeia cinemática fechada. Contudo, ainda não existe um consenso sobre a existência de uma influência desses músculos sobre o movimento e a postura de pronação-supinação. Assim, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão de literatura buscando uma relação entre a função dos músculos do CTP com a pronação-supinação desse complexo articular. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados Medline/PubMed, Scielo, Lilacs, Cochrane e Google Acadêmico, tendo sido selecionado 8 estudos. Do total de 8 estudos, 4 encontraram associação entre a fadiga dos músculos do CTP com aumento da pronação subtalar em cadeia fechada; 1 estudo observou aumento da pronação após inibição do nervo tibial posterior (lidocaína 1%); 1 estudo relacionou o ganho de força muscular no CTP com diminuição da pronação; 1 estudo não encontrou diferença entre os picos de torque dos músculos inversores e eversores do pé entre pessoas com arco plantar plano e normal; e 1 estudo observou maior atividade muscular do tibial anterior durante o contato inicial e do tibial posterior na impulsão da marcha, em pessoas com o arco plantar plano. Os resultados sugerem que a função dos músculos do CTP pode ser um fator consequente ou causal da cinemática do CTP. Assim, funções dos músculos do CTP como força, resistência e ativação devem ser avaliadas e consideradas em abordagens clínicas de prevenção e tratamento de patologias relacionadas a alterações dos movimentos de pronação-supinação do CTP.

**Palavras-chave:** Pronação. Tornozelo. Pé. Músculos Inversores. Força. Fadiga. Resistência. Postura. Marcha. Corrida.

## **Abstract**

Alterations of pronation-supination motion and posture of the foot-ankle complex (TCC) during closed chain activities such as walking, running and standing posture are often linked to an increased risk of lower limb injuries. Factors that could influence distal pronation-supination TCC, besides the anatomical misalignment with tibial varus, varus of the rearfoot and forefoot varus of, is the function of the muscles of the TCC. Strength and endurance of intrinsic and extrinsic muscles of the foot could affect the movements of pronation-supination at the subtalar joint in closed kinematic chain. However, there is still no consensus on the existence of an influence on the movement of these muscles and posture pronation-supination. Thus, the present study aims to conduct a literature review seeking a relationship between the function of the muscles of TCC with pronation-supination of this joint complex. We performed a literature search in Medline / PubMed, SciELO, Lilacs, Cochrane and Google Scholar and was selected 8 studies. Of the total of 8 studies, 4 found an association between fatigue of the muscles of TCC with increased subtalar pronation closed chain, one study observed increased pronation after inhibition of the posterior tibial nerve (lidocaine 1%), 1 study related strength gain muscle in TCC with decreased pronation, 1 study found no difference between the peak torque of the muscles of the foot inverters and eversors among people with plantar arch and normal plane, and one study found increased activity of the tibialis anterior muscle during the initial contact and posterior tibial thrust gait in people with plantar arch plan. The results suggest that the function of the muscles of TCC can be a factor resulting from the kinematics of the causal or TCC. Thus, functions of the muscles of TCC as strength, endurance and activation should be evaluated and considered in clinical approaches to prevention and treatment of diseases related to changes in pronation-supination movements of the TCC.

**Keywords:** Pronation. Ankle. Foot. Muscles Inverters. Fatigue. Strength. Resistance. Posture. Gait. Running.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>9</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Estudos transversais .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Estudos quasi-experimentais.....</b>	<b>16</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>21</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Alterações nos movimentos e postura de pronação-supinação do complexo tornozelo-pé (CTP), durante atividades realizadas em cadeia fechada como a marcha, a corrida e a postura ortostática, são frequentemente relacionadas a um aumento do risco de lesões dos membros inferiores<sup>1-4</sup>. A pronação que ocorre durante atividades em cadeia fechada, como no início da fase de apoio da marcha, permite adaptação do pé a superfície de apoio, absorve choques e dissipa rotações axiais que ocorrem nos membros inferiores<sup>5,6</sup>. Dentre as alterações de pronação-supinação, a pronação excessiva tem sido amplamente relacionada, através de raciocínios teóricos e clínicos, com patologias do sistema músculo-esquelético e a intervenções terapêuticas como a prescrição de cinesioterapia e órteses<sup>4,5,7</sup>. A pronação subtalar excessiva é definida como o aumento da magnitude, velocidade e/ou duração desse movimento<sup>5</sup> ou, em casos estáticos, de aumento da magnitude dessa postura. Esse padrão alterado pode levar ao aumento de estresses e a lesões em estruturas do CTP, como a fásia plantar e os tecidos moles da perna<sup>8-10</sup>. Além disso, pode ocasionar o aumento da magnitude, velocidade e rotação interna dos membros inferiores (joelho e/ou quadril), por meio da dependência biomecânica do talus e da perna, na articulação talocrural<sup>5,11</sup>. Assim, essa alteração de movimento e postura pode alterar a quantidade de estresse imposto em outras estruturas dos membros inferiores, além do CTP, e estruturas do complexo lombo-pélvico<sup>5,12</sup>. Portanto, a pronação-supinação do CTP está relacionada à ocorrência de lesões em várias estruturas músculo-esqueléticas e, assim, deve-se compreender os fatores mecânicos que influenciam nos padrões de pronação-supinação<sup>12-15</sup>.

Os movimentos apresentados no CTP e nos membros inferiores, principalmente nos planos transversal e frontal, parecem ser influenciados por fatores proximais e distais da cadeia biomecânica<sup>13</sup>. Influências proximais podem ocorrer, por exemplo, devido à inter-relação da pelve com a coxa, através de torques axiais no quadril<sup>14</sup>. Esses torques influenciam na rotação axial do membro inferior e, devido ao acoplamento entre o talus e a perna, afetam também a pronação-supinação<sup>16</sup>. Por outro lado, influências distais

podem ocorrer por meio da interação das estruturas ósseas e musculares do pé com a superfície de apoio<sup>5,13,14,16</sup>. Recentemente, ênfase tem sido dada, na literatura, aos fatores proximais<sup>13</sup>. Entretanto, ainda não existe um consenso sobre a influência dos fatores distais na pronação-supinação.

Dentre os possíveis fatores distais que poderiam influenciar a pronação-supinação do CTP, além dos desalinhamentos anatômicos com varismo de tibia, varismo de retropé e varismo de antepé<sup>5,17</sup>, está a função dos músculos do CTP<sup>8,18,19</sup>. A estabilidade estática e dinâmica do pé, relacionada aos movimentos de pronação-supinação, vem sendo atribuída ao arco longitudinal medial através da fásia plantar, do ligamento calcâneo-navicular, dentre outras estruturas<sup>9,20</sup>. Dentre os músculos do CTP, os músculos intrínsecos do pé, abductor do hálux, flexor curto do hálux, flexor curto dos dedos, quadrado plantar e lumbricais<sup>8,10,21</sup> poderiam dar suporte ao arco plantar e, assim, reduzir a pronação do CTP durante atividades em cadeia fechada. Além disso, os músculos extrínsecos do CTP como o tibial posterior, tibial anterior e o fibular longo<sup>8,18,19,21</sup>, por sua ação sobre a inversão-eversão do tornozelo, também poderiam afetar a pronação-supinação do CTP durante atividades em cadeia fechada. Contudo, ainda não existe um consenso sobre a existência de uma influência dos músculos do CTP sobre o movimento e a postura de pronação-supinação. Não existe um consenso, também, sobre quais fatores da função muscular, como força, resistência ou fadiga, estariam relacionados com a pronação-supinação<sup>22</sup>. Assim, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão de literatura buscando uma relação entre a função dos músculos do CTP com a pronação-supinação desse complexo articular.



## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma pesquisa nas bases de dados Medline/PubMed, Scielo, Lilacs, Cochrane e Google Acadêmico. Os artigos foram identificados pelas seguintes palavras chave: *pronation, foot, rearfoot, ankle, strength/force, fatigue, inhibition, muscles, inverter, intrinsic, gait/walking, running standing, upright, posture*. As mesmas palavras foram utilizadas em português para complementar as buscas. Foram utilizadas estratégias de cruzamento dos termos como: *foot pronation and strength, intrinsic muscles foot and standing, rearfoot pronation and fatigue and gait*. Não houve restrição quanto à data de publicação dos artigos e idioma.

Os critérios de inclusão dos artigos na revisão foram: (a) conter análise da cinemática do complexo tornozelo-pé (CTP) em cadeia cinemática fechada, sem restrição do método de análise para tal; (b) avaliar algum parâmetro de função dos músculos do complexo tornozelo-pé ou realizar alguma intervenção para modificar algum desses parâmetros; (c) possuir amostra com indivíduos saudáveis, sem histórico de lesão em membros inferiores e complexo lombopélvico ou pós-operatório. Os critérios de exclusão foram: ter realizado análises em cadeia cinemática aberta; ausência de descrição dos instrumentos ou procedimentos utilizados para realizar as medidas das variáveis analisadas; ter utilizado medidas sem confiabilidade relatada; utilização de órteses e calçados com características diferentes para modificar a biomecânica do CTP.

O processo de seleção dos artigos foi constituído de duas etapas. Na primeira etapa, foi realizada a busca nas bases de dados com o uso dos descritores, e a seleção dos estudos seguiu os critérios de inclusão. Na segunda etapa, ocorreu a leitura dos textos por completo para identificar e descartar os estudos que continham os critérios de exclusão.

### 3 RESULTADOS

A busca inicial identificou 284 artigos, dentre os quais 11 foram pré-selecionados na primeira etapa, de acordo com os critérios de inclusão. Dentre os estudos não selecionados nesta etapa, a maioria havia investigado: a biomecânica do complexo tornozelo-pé em indivíduos com lesões ou sintomas musculoesqueléticos, o uso de órteses ou efeitos após intervenções cirúrgicas. Na segunda etapa, três estudos foram descartados por não estarem de acordo com o critério de exclusão *b*. Assim, o resultado dessa revisão foi constituído de 8 estudos que estavam de acordo com os critérios de inclusão e exclusão determinados. As características das amostras, os grupos comparados, as medidas de desfecho utilizadas e os desfechos observados pelos estudos transversais estão apresentados na Tabela 1. As características das amostras, as intervenções realizadas, as medidas de desfecho utilizadas e os desfechos observados pelos estudos quasi-experimentais estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 1 – Características e resultados dos estudos transversais incluídos.

Artigo	Amostra (idade, número e sexo)	Grupos	Medidas de desfecho	Desfecho observado
Karatsolis <i>et al.</i> (2008)	n= 20 homens (n=20) Idade não relatada	Indivíduos com postura normal do pé  X  Indivíduos com hiperpronação	Análise do pico de torque dos inversores e eversores do tornozelo, pico de troque normalizado pelo peso e relação entre os picos de torque.	Não houve diferença significativa entre o torque máximo CON dos músculos inversores e eversores do tornozelo em indivíduos com hiperpronação e os normais.
Murley <i>et al.</i> (2009)	n= 60 30 com arco plantar normal (15 homens e 15 mulheres)  30 com arco plantar plano (15 homens e 15 mulheres)  Idade de 18 a 47 anos	Indivíduos com arco plantar normal  X  Indivíduos com arco plantar plano	Análise da postura do pé (avaliada pelo teste de queda do navicular e por radiografia) e atividade muscular eletromiográfica.	Indivíduos com arco plantar plano apresentaram maior atividade muscular do tibial anterior durante o contato inicial e do tibial posterior durante a impulsão, enquanto que os indivíduos com arco plantar normal apresentaram maior atividade muscular do fibular longo durante o apoio médio.

n= número de participantes; CON= concêntrico.

FONTE: Criação do próprio autor.

TABELA 2 – Características e resultados dos estudos quasi-experimentais incluídos.

Artigo	Amostra (idade, número e sexo)	Intervenção	Medida(s) de desfecho	Desfecho observado
Pohl <i>et al.</i> (2010)	n= 29 homens (n= 11) mulheres (n=18)  Idade não relatada	Protocolo de fadiga: 4 séries de 50 repetições (CON e EXC) com 50% da CVM. 10 segundos de repouso entre as séries.	Análise cinemática tridimensional da marcha na esteira pré e pós intervenção.	A fadiga do músculo tibial posterior levou ao aumento da excursão de eversão do retopé e aumento do pico de abdução do antepé.
Ferber & Pohl (2011)	n= 29 homens (n= 11) mulheres (n=18)  Idade média de 27,3 anos	Protocolo de fadiga: 4 séries de 50 repetições (CON/EXC) com 50% da CVM. 10 segundos de repouso entre as séries.	Análise cinemática tridimensional da marcha na esteira pré e pós intervenção.	A fadiga do músculo tibial posterior levou ao aumento da rotação interna da tíbia, eversão do retopé e abdução do antepé durante a marcha.
Christina <i>et al.</i> (2001)	n= 11 mulheres (n=11)  Idade não relatada	Protocolo de fadiga: 15 repetições (CON/EXC) a 75%, 50%, 30% e 50% de 1 RM CON dos dorsiflexores e inversores do tornozelo.	Análise cinemática bidimensional (sagital e frontal) da corrida na esteira pré e pós intervenção.	A fadiga dos músculos dorsiflexores (tibial anterior) e inversores do tornozelo (tibial posterior) levou à maiores valores de eversão do retopé.
Headlee <i>et al.</i> (2006)	n= 21 homens (n=12) mulheres (n=9)  Idade média de 25,8 anos	Protocolo de fadiga: 1 série de 75 repetições com uma carga de 4,55 Kg dos músculos intrínsecos do pé.	Análise da queda no navicular (medida com paquímetro) com a atividade muscular usando EMG.	A fadiga da musculatura intrínseca do pé levou ao aumento da pronação (medida pela queda do navicular) na postura ortostática.

Fiolkowski <i>et al.</i> (2003)	n= 10 homens (n=9) mulheres (n=1)  Idade de 21 a 35 anos	Foi realizado o bloqueio do nervo tibial por um ortopedista com lidocaína a 1% com adrenalina.	Atividade muscular dos músculos intrínsecos do pé (medida por EMG) e queda do navicular medida com paquímetro	A diminuição da atividade muscular intrínseca do pé gerando o aumento da pronação estática.
Feltner <i>et al.</i> (1994)	n= 77  Idade média de 18,5 anos	<p>Grupo 1: Protocolo de fortalecimento* isocinético para inversores e eversores do retopé: 3 séries de 8 repetições a 20°/s, 90°/s e 180°/s com CVM.</p> <p>Grupo 2: Protocolo de fortalecimento* não isocinético para inversores e eversores do retopé: treino proprioceptivo, treino contra resistência de <i>tubing</i>, subida e descida de <i>step</i>, corrida, saltos multidirecionais e corrida em círculo.</p>	Análise cinemática de corrida na esteira (3,8 m/s) por vídeo (Peak Performance Video Analysis System).	<p>Grupo1: O protocolo isocinético levou a um ganho de força (CON/EXC) dos músculos inversores e eversores do retopé, além da diminuição dos ângulos de pronação/supinação e a pronação total do pé durante a corrida.</p> <p>Grupo2: O protocolo não isocinético não exibiu alterações nos parâmetros de movimento do retopé. Foi observado aumento da força EXC dos músculos inversores do retopé.</p>

n= número de participantes; CON/EXC= concêntrico e excêntrico; RM= repetição máxima; Kg= quilogramas; °/s= graus por segundo; CVM= contração voluntária máxima; m/s= metros por segundo; EMG= eletromiografia.

\*Protocolo realizado durante 8 semanas.

FONTE: Criação do próprio autor.

## 4 DISCUSÃO

O presente trabalho investigou a possível relação entre parâmetros de função dos músculos do CTP com alterações na magnitude, velocidade e duração dos movimentos de pronação-supinação na articulação subtalar em cadeia cinemática fechada. Os parâmetros de função muscular investigados foram parâmetros que podem influenciar ou informar sobre a magnitude da força muscular produzida durante a atividade de interesse, como a marcha, postura ortostática ou corrida. Os parâmetros medidos ou manipulados pelos estudos foram: força muscular (i.e. capacidade de gerar força ou torque) e/ou atividade eletromiográfica. Oito estudos, que estavam de acordo com os critérios de inclusão, foram encontrados na literatura. Dois desses estudos eram transversais, sendo que um deles mediu o pico de torque concêntrico dos músculos inversores e eversores do retopé em indivíduos com pé hiperpronado e com pé normal, para investigar a relação de força desses músculos com a pronação<sup>22</sup>. O outro estudo transversal mediu a atividade eletromiográfica, dos músculos do CTP, em indivíduos com arco plantar plano e arco plantar normal, para investigar a relação da atividade desses músculos durante a marcha com a pronação<sup>23</sup>. Seis dos estudos selecionados eram do tipo quasi-experimental: quatro produziram fadiga dos músculos inversores do CTP, para avaliar a influência da atividade eletromiográfica e força muscular sobre a pronação<sup>24-27</sup>, um estudo induziu a diminuição da atividade eletromiográfica dos músculos intrínsecos do pé, por meio de medicação local, para investigar a influência da atividade muscular sobre a pronação<sup>28</sup>, e um estudo induziu ganhos de força dos músculos inversores e eversores do CTP, por meio de fortalecimento, para avaliar a influência da força muscular sobre a pronação<sup>29</sup>.

Abaixo, os resultados dos estudos são discutidos de acordo com o desenho metodológico adotado, para permitir melhor análise dos fatores que podem ter influenciado nos resultados encontrados e melhor interpretação desses resultados.

#### **4.1 Estudos transversais**

Karatsolis *et al.*<sup>22</sup> investigaram diferenças entre os picos de torque dos músculos inversores e eversores do tornozelo, comparando indivíduos que apresentavam postura do pé normal com indivíduos que apresentavam hiperpronação do pé na postura ortostática. Estes autores não encontraram diferenças significativas de torque máximo (força) produzido pelos músculos inversores e eversores do tornozelo entre os dois grupos. Esses resultados sugerem uma ausência de relação entre força dos músculos do CTP e pronação durante a postura ortostática. Entretanto, a ausência de diferenças significativas no estudo pode ter sido influenciada pela escolha de um desenho experimental em que dois grupos são comparados. Para separar os grupos, os participantes foram classificados como indivíduos com a postura do pé normal e indivíduos com hiperpronação do pé, durante a posição ortostática<sup>30,31</sup>. Esta classificação dicotômica necessita que o pesquisador julgue os valores de pronação dos participantes, e os grupos produzidos podem não apresentar diferenças consistentes entre os parâmetros de função muscular avaliados. Esse método dificulta a observação de diferenças significativas. Nesse estudo, o teste da queda do navicular foi utilizado como medida de pronação e não existe um consenso quanto aos valores de referência para classificar a pronação utilizando essa medida<sup>32</sup>.

Murley *et al.*<sup>23</sup> compararam a atividade eletromiográfica dos músculos do CTP durante a marcha em pessoas com o arco plantar plano e pessoas com arco plantar normal. Esses autores identificaram maior atividade muscular do tibial anterior durante o contato inicial e do tibial posterior na impulsão da marcha, em pessoas com o arco plantar plano. Esses resultados sugerem que a atividade dos músculos do CTP está relacionada com a pronação do pé. A relação sugerida é de que a maior atividade do tibial anterior durante o contato inicial e do tibial posterior durante a fase de impulsão, em indivíduos com pé plano, ocorreu na tentativa de reduzir uma pronação excessiva<sup>33</sup>. Essa relação indica que a atividade desses músculos não seria responsável, mas sim compensatória à pronação observada. Em indivíduos saudáveis e assintomáticos, sem alterações induzidas na função muscular do CTP, uma pronação aumentada poderia ser consequência de outros fatores, como

alinhamento ósseo do pé<sup>5,17</sup> e torque de rotação externa do quadril<sup>14,15</sup>, enquanto a atividade muscular do CTP seria adaptativa a esses fatores e à cinemática produzida. A maior atividade do tibial anterior durante o contato inicial da marcha atenderia, também, à demanda de desaceleração da flexão plantar do tornozelo e a maior atividade do tibial posterior durante a impulsão atenderia, também, à demanda de flexão plantar do tornozelo. O estudo de Murley *et al.*<sup>23</sup> também usou um desenho experimental que necessita da classificação dos participantes em dois grupos, o que poderia dificultar encontrar diferenças significativas. Entretanto, as diferenças encontradas indicam que a separação de grupos utilizada foi apropriada para revelar essas diferenças.

A cinemática do CTP é multifatorial<sup>21</sup>, podendo ser influenciada, por exemplo, por função dos músculos rotadores externos do quadril e por alinhamento ósseo do calcâneo, da perna e do retropé<sup>5,13-15</sup>. Essa característica faz com que estudos transversais tenham dificuldade de revelar relações entre parâmetros de função muscular e a pronação<sup>34</sup>. Além disso, esses estudos não são capazes de revelar relações de causa e efeito ou as direções das relações possivelmente existentes. Apesar de algumas relações poderem ser reveladas, como no estudo de Murley *et al.*<sup>23</sup>, um desenho experimental que teste os efeitos da modificação de apenas um parâmetro de função muscular sobre a cinemática do CTP é mais controlado e produz evidências mais fortes sobre a questão abordada pela presente revisão<sup>34</sup>. Assim, na próxima seção, são apresentados os estudos que utilizaram dessa metodologia.

#### **4.2 Estudos quasi-experimentais**

Todos os estudos que induziram fadiga dos músculos inversores do CTP e intrínsecos do pé, após aplicação de protocolos específicos, encontraram aumento na magnitude de movimentos nos planos frontal, sagital e transversal do CTP, que indicam aumento de pronação durante atividades dinâmicas. Aumento da rotação interna da tíbia, da excursão de eversão do retropé e do pico de abdução do antepé durante a marcha, que indicam aumento de pronação, resultaram da fadiga do músculo tibial posterior<sup>25,27</sup>. Cristina *et al.*<sup>26</sup>



encontraram aumento da velocidade de eversão do retropé durante a corrida após a fadiga dos músculos tibial anterior e tibial posterior (i.e. músculos inversores)<sup>26</sup>. Por fim, Headlee *et al.*<sup>24</sup>, identificou aumento da pronação na postura ortostática, medida pela queda no navicular, após a fadiga da musculatura intrínseca do pé<sup>24</sup>. A indução de fadiga muscular reduz tanto a atividade eletromiográfica durante a atividade realizada quanto a capacidade de gerar força e torque muscular<sup>23-27</sup>. Assim, os resultados encontrados indicam que maior pronação pode ocorrer em situações em que a atividade e força dos músculos inversores (supinadores) do CTP e intrínsecos do pé (arco plantar) estão reduzidas. Considerando a manipulação específica dos estudos (fadiga), aumento da pronação pode ocorrer em situações em que há fadiga desses músculos, como em atividades intensas e duradouras ou na presença de baixa resistência muscular resultante de sedentarismo e disfunções álgicas. Esses resultados apontam para uma relação em que a função alterada dos músculos inversores do CTP e intrínsecos do pé causam a alteração cinemática desse complexo.

Fiolkowski *et al.*<sup>28</sup> identificaram diminuição do arco longitudinal medial (ALM) do pé em postura ortostática, avaliado pela queda do navicular, revelando aumento da pronação resultante da inibição da musculatura intrínseca do pé através do nervo tibial por um anestésico (lidocaína 1%), avaliado por eletromiografia<sup>28</sup>. É importante ressaltar que é possível que a utilização do anestésico também tenha diminuído a atividade de músculos extrínsecos do pé, como o tibial posterior, que poderiam auxiliar na sustentação do ALM<sup>8,19</sup>. Esses resultados também apontam para uma relação em que a função alterada dos músculos intrínsecos do pé causam a alteração cinemática do CTP. Aumento de pronação pode ocorrer em situações em que a atividade desses músculos está reduzida, como na presença de fadiga e de processos álgicos. Esses resultados corroboram os resultados dos estudos que induziram fadiga dos músculos do CTP e intrínsecos do pé<sup>23-27</sup>.

Feltner *et al.*<sup>29</sup> investigaram os efeitos do treino para ganho de força dos músculos do CTP sobre a cinemática do CTP durante a corrida. Esses autores realizaram treino de fortalecimento muscular dos inversores e eversores do retropé, utilizando um protocolo isocinético em um grupo e outro não-

isocinético (isotônico) em outro grupo. Foi observado, no grupo submetido ao protocolo isocinético, um aumento da força máxima da musculatura treinada e uma diminuição dos ângulos de pronação/supinação e na pronação total durante a corrida<sup>29</sup>. Entretanto, no grupo submetido ao protocolo não-isocinético, houve um aumento de força excêntrica máxima dos inversores do retopé, porém, sem alterações nos parâmetros de movimento do mesmo<sup>29</sup>. Esses resultados indicam que um ganho na capacidade de gerar força máxima em si pode não influenciar no movimento do CTP. Durante a corrida, os músculos do CTP não precisam gerar força máxima, o que é demonstrado pela magnitude de ativação menor que 100%<sup>33</sup>. Assim, a redução de pronação causada pelo treino isocinético pode ter sido resultante de outros efeitos além do ganho de força máxima. O treino isocinético levaria a maiores ganhos de rigidez passiva tecidual que o treino não-isocinético<sup>29,35</sup>. Dessa forma, a redução da pronação encontrada no grupo que realizou o treino isocinético pode ter sido consequente a alterações de rigidez passiva dos músculos e de tecidos conectivos miofasciais relacionados a eles<sup>13,35</sup>. É importante lembrar que os indivíduos que foram submetidos aos protocolos de fortalecimento não apresentavam fraqueza dos músculos do CTP. Em indivíduos com fraqueza muscular, o fortalecimento poderia levar a maiores alterações na cinemática do CTP, incluindo os exercícios não-isocinéticos. Vale ressaltar, também, que nenhum protocolo levou ao aumento da supinação (inversão) durante a segunda metade da fase de apoio da corrida<sup>29</sup>, sendo possível que fatores proximais, como o torque de rotação externa do quadril, tenham maior influência nesse momento da corrida<sup>14,16</sup>.

Os estudos quasi-experimentais manipulam apenas uma variável, para observar os efeitos isolados dessa manipulação sobre a variável desfecho<sup>34</sup>. Assim, esses estudos possuem um alto controle interno e geram evidências fortes sobre relações de causa e efeito<sup>34</sup>. Os estudos quasi-experimentais incluídos nessa revisão indicam que a função dos músculos extrínsecos e intrínsecos do CTP afetam a cinemática desse complexo. Os resultados desses estudos indicam que uma pronação aumentada pode ocorrer em situações em que esses músculos produzem menor força durante a atividade analisada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Os resultados dos estudos indicam que a função dos músculos do CTP pode influenciar na pronação-supinação desse complexo, durante atividades como a marcha, a corrida e a postura ortostática. Os estudos transversais, que não manipulam parâmetros de função muscular, não geram evidências de causa e efeito e são mais propensos a não encontrar resultados significativos quando a variável desfecho (como a cinemática do CTP) é multifatorial<sup>34</sup>. Entretanto, ainda assim, um dos estudos transversais encontrou que pessoas com maior pronação exibem maior atividade de músculos supinadores. Esses resultados sugerem que, em situações não-patológicas em que a função muscular não foi manipulada, os músculos do CTP reduzem (controlam) a pronação quando esta encontra-se excessiva, possivelmente causada por outros fatores como alinhamento ósseo do pé<sup>5,17</sup> e fatores mecânicos do quadril<sup>13-16</sup>. Nesse caso, a função muscular seria consequente ao padrão cinemático observado. Na prática clínica, podemos encontrar essa relação em situações em que a pronação excessiva de um paciente leva à sobrecarga dos músculos supinadores para controlar a pronação, como na síndrome do estresse tibial medial<sup>3,4,36</sup>. Nesses casos, outros fatores músculo-esqueléticos são as causas da pronação excessiva e devem ser alvo da intervenção terapêutica<sup>37</sup>.

Todos os estudos quasi-experimentais, que geram evidências fortes sobre a relação entre uma variável manipulada (função muscular) e uma variável desfecho (cinemática do CTP)<sup>34</sup>, encontraram que parâmetros de função muscular afetam a cinemática do CTP. Os resultados desses estudos são menos influenciados pelo caráter multifatorial da cinemática do CTP. Esses resultados indicam que situações em que a força produzida por músculos supinadores e intrínsecos do pé está reduzida (e.g. com fadiga) levam ao aumento da pronação do CTP. Indicam, também, que situações em que a força produzida por músculos supinadores e intrínsecos do pé está aumentada (e.g. maior rigidez passiva dos tecidos conectivos das unidades miofasciais) levam à redução da pronação do CTP. Assim, diferente dos estudos transversais, os resultados dos estudos quasi-experimentais indicam que a função muscular

alterada pode, também, ser causa do padrão cinemático observado. Na prática clínica, podemos encontrar essa relação em situações em que a pronação excessiva de um paciente é causada pela redução da função dos músculos supinadores, como em processos álgicos desses músculos. Nesses casos, os músculos do CTP devem ser alvo de intervenção terapêutica (e.g, medidas analgésicas e fortalecimento)<sup>22,29,33</sup>.

A partir das evidências encontradas nessa revisão, foi possível encontrar uma possível relação entre a função dos músculos do CTP com a velocidade e magnitude de pronação-supinação na articulação subtalar. Os resultados sugerem que a função dos músculos do CTP pode ser um fator consequente ou causal da cinemática do CTP. Assim, funções dos músculos do CTP como força, resistência e ativação devem ser avaliadas e consideradas em abordagens clínicas de prevenção e tratamento de patologias relacionadas a alterações dos movimentos de pronação-supinação do CTP. Uma intervenção clínica sobre esses músculos deve ser implementada apenas quando a avaliação de sua função indique alguma alteração<sup>22</sup>. Além disso, considerando o caráter multifatorial da cinemática do CTP, a função desses músculos deve ser avaliada junto com outros fatores músculo-esqueléticos, para que uma intervenção atenda às características individuais do paciente.

## REFERÊNCIAS

1. HUNT, A.E.; SMITH, R.M. Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. **Clin. Biomech.**, v. 19, p. 391-397, 2004.
2. REDMOND, A.C.; CROSBIE, J.; OUVRIER, R.A. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The Foot Posture Index. **Clin. Biomech.**, v. 21, p. 89-98, 2006.
3. YATES, B.; WHITE, S. The incidence and risk factors in the development of medial tibial stress syndrome among naval recruits. **Am. J. Sports. Med.**, v. 32, p. 772-780, 2004.
4. MURLEY, G.S. *et al.* Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: a systematic review. **Gait Posture**, v. 29, p. 172-187, 2009.
5. MICHAUD, T.C. **Foot orthoses:** and other forms of conservative foot care. 1. ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1993.
6. MAGEE, D.J. **Avaliação Musculoesquelética.** 4. ed. Barueri-SP: Manole, 2005. 842-868 p.
7. MASCAL, C.L.; LANDEL, R.; POWERS, C. Management of patellofemoral pain targeting hip, pelvis, and trunk muscle function: 2 case reports. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, v. 33, p. 647-659, 2003.
8. THORDARSON, D.B. *et al.* Dynamic support of the human longitudinal arch. A biomechanical evaluation. **Clin. Orthop.**, v. 316, p. 165–172, 1995.
9. CHEUNG, J.T.; ZHANG, M.; AN, K.N. Effects of plantar fascia stiffness on the biomechanical responses of the ankle-foot complex. **Clin. Biomech.**, v. 19, p. 839–846, 2004.
10. MANN, R.; INMAN, V. Phasic activity of intrinsic muscles of the foot. **J. Bone Joint.**, v. 46, p. 469–481, 1964.
11. SOUZA, T.R. *et al.* Late rearfoot eversion and lower limb internal rotation caused by changes in the interaction between forefoot and support surface. **J. Am. Podiatr. Med. Assoc.**, v. 99, p. 503-511, 2009.
12. PINTO, R.Z.A. *et al.* Bilateral and unilateral increases in calcaneal eversion affect pelvic alignment in standing position. **Man. Ther.**, v. 13, p. 513-519, 2008.

13. BUTLER, R.J.; CROWELL III, H.P.; DAVIS, I.M. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. **Clin. Biomech.**, v. 18, p. 511-517, 2003.
14. FONSECA, S.T. *et al.* Integration of Stresses and their Relationship to the Kinetic Chain. In: MAGEE, D.J.; ZACHAZEWSKI, J.E.; QUILLEN, W.S. (Org.). **Scientific Foundations and Principles of Practice in Musculoskeletal Rehabilitation**. St Louis: Saunders Elsevier; 2007. p. 476-486.
15. WILLIAMS III, D.S.; McCLAY, I.S.; HAMILL, J. Arch structure and injury patterns in runners. **Clin. Biomech.**, v. 16, p. 341-347, 2001.
16. SOUZA, T.R. *et al.* Temporal couplings between rearfoot–shank complex and hip joint during walking. **Clin. Biomech.**, v. 25, n. 7, p. 745-748, 2010.
17. VICENZINO, B. *et al.* Effect of antipronation tape and temporary orthotic on vertical navicular height before and after exercise. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, v. 30, p. 333-339, 2000.
18. O'CONNOR, K.M.; HAMILL, J. The role of selected extrinsic foot muscles during running. **Clin. Biomech.**, v. 19, p. 71–77, 2004.
19. KITAOKA, H.; LUO Z.; AN, K. Effect of the posterior tibial tendon on the arch of the foot during simulated weightbearing: biomechanical analysis. **Foot Ankle Int.**, v. 18, p. 43–46, 1997.
20. BORTON, D.C.; SAXBY, T.S. Tear of the plantar calcaneonavicular (spring) ligament causing flatfoot. A case report. **J. Bone Joint Surg.**, v. 79, p. 641–643, 1997.
21. DONATELLI, R. Normal biomechanics of the foot and ankle. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. v. 7, n. 2, p. 91-95, 1985.
22. KARATSOLIS, K. Eversion and inversion muscle group peak torque in hyperpronated and normal individuals. **The Foot**. v. 19, p. 29-35, 2009.
23. MURLEY, G.S.; MENZ, H.B.; LANDORF, K.B. Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 35, n. 2, p. 1-9, 2009.
24. HEADLEE, D.L. *et al.* Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. v. 18, p. 420–425, 2008.

25. FERBER, R.; POHL, M.B. Changes in joint coupling and variability during walking following tibialis posterior muscle fatigue. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 6, n. 9, p. 1-8, 2011.
26. CHRISTINA, K.A.; WHITE, S.C.; GILCHRIST, L.A. Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running. **Human Movement Science**. v. 20, p. 257-276, 2001.
27. POHL, M.B.; RABBITO, M.; FERBER, R. The role of tibialis posterior fatigue on foot kinematics during walking. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 6, n. 3, p. 1-8, 2010.
28. FIOLKOWSKI, P. *et al.* Intrinsic Pedal Musculature Support of the Medial Longitudinal Arch: An Electromyography Study. **The Journal of Foot & Ankle Surgery**. v. 42, n. 6, p. 327-333, 2003.
29. FELTNER, M.E. *et al.* Strength training effects on rearfoot motion in running. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 26, n. 8, p. 1021-1027, 1994.
30. HARGRAVE, M.D. *et al.* Subtalar pronation does not influence impact forces or rate of loading during a single-leg landing. **Journal of Athletic Training**. v. 38, n. 1, p. 18-23, 2003.
31. COTE, K.P. *et al.* Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. **Journal of Athletic Training**. v. 40, n. 1, p. 41-46, 2005.
32. SNOOK, A.G. The relationship between excessive pronation as measured by navicular drop and isokinetic strength of the ankle musculature. **Foot and Ankle International**. v. 22, n. 3, p. 234-40, 2001.
33. HUNT, A.E.; SMITH, R.M.; TORODE, M. Extrinsic muscle activity, foot motion and ankle joint moments during the stance phase of walking. **Foot Ankle Int.**, v. 22, p. 31-41, 2001.
34. PORTNEY, L.G.; WATKINS, M.P. **Foundations of Clinical Research: Applications to Practice**. 2. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 2000.
35. MUELLER, M.J.; MALUF, K.S. Tissue Adaptation to Physical Stress: A Proposed "Physical Stress Theory" to Guide Physical Therapist Practice, Education, and Research. **Phys. Ther.**, v. 82, n. 4, p. 383-403, 2002.

36. IMHAUSER, C.W. *et al.* The effect of posterior tibialis tendon dysfunction on the plantar pressure characteristics and the kinematics of the arch and the hindfoot. **Clin. Biomech.**, v. 19, p. 161-169, 2004.
37. SOUZA, T.R. *et al.* Pronação excessiva e varismos de pé e perna: relação com o desenvolvimento de patologias músculo-esqueléticas – Revisão de Literatura. **Rev. Fisioterapia e Pesquisa.** v. 18, n. 1, p. 92-98, 2011.