



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE FISIOTERAPIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EFEITOS DA COMPRESSÃO SOBRE A CINEMÁTICA DE SALTOS
EM CONDIÇÃO DE FADIGA MUSCULAR

Acadêmico: Bruno Machado Maroneze

Orientador: Felipe P Carpes

Uruguaiana, 2017

Artigo Original

EFEITOS DA COMPRESSÃO SOBRE A CINEMÁTICA DE SALTOS EM CONDIÇÃO DE FADIGA MUSCULAR

**Bruno Machado Maroneze¹, Marcos R Kunzler¹, Andressa L Lemos¹, Caetano Lazzari², Felipe
P Carpes^{1*}**

1 Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada, Universidade Federal do Pampa,
Uruguaiana, RS, Brasil

2 Grupo de Pesquisa em Biodinâmica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,
SC, Brasil

* autor correspondente

carpes@unipampa.edu.br

Resumo:

Tarefas de salto predispõe um maior risco de lesão do ligamento cruzado anterior do joelho durante as manobras de aterrissagem, em decorrência de variações nos ângulos de flexão e valgo do joelho. O uso de roupas compressivas pode minimizar essas alterações durante as manobras de salto-aterrissagem. Contudo, seus efeitos não foram testados em uma condição de fadiga, onde o controle dos movimentos articulares é prejudicado. Neste estudo determinamos se a compressão nos membros inferiores, pelo uso de bermudas compressivas, afeta a cinemática do joelho na aterrissagem de saltos em condição de fadiga. Foram avaliadas mulheres fisicamente ativas (n=11) com 22,8 (3,1) anos de idade, estatura 1,65 (3,1) m, massa corporal 61,9 (7) kg, realizando tarefas de saltos de contramovimento e de queda com e sem uso de uma bermuda compressiva, antes e depois de um protocolo de fadiga. Dados cinemáticos foram obtidos com cinemetria 3D. Para cada salto, as condições de bermuda e fadiga foram comparadas por análise de variância. A bermuda compressiva não reduziu amplitude dos movimentos do joelho na condição de fadiga em tarefas de salto. Logo, o uso da bermuda compressiva não foi eficaz na redução da amplitude de movimento do joelho nos planos sagital e frontal em uma condição de fadiga.

Palavras-chave: bermuda compressiva; valgo; salto-aterrissagem; joelho.

Abstract:

Jumping tasks predisposes a greater risk of anterior cruciate ligament injury of the knee during landing maneuvers, due to variations in knee flexion and valgus angles. The use of compression garments can minimize these changes during jump-landing maneuvers. However, it is unknown its effects when the fatigue is present, which may impair movement control. In this study, we determine the effect of a compressive garment on kinematics of the knee during landing jumps in fatigue condition. Physically active women (n = 11) age of 22.8 (3.1) years old, height 1.65 (3.1) m, body mass 61.9 (7) kg performed jumping tasks with and without use of a compressive garment before and after a protocol of fatigue. The kinematic data were obtained with 3D motion analysis. Compressive garments did not reduce amplitude of knee movements in a fatigue condition in jump-landing tasks. Therefore, the use of compressive garment was not effective in reducing the range of motion of the knee in the sagittal and frontal planes in a fatigue condition.

Key words: compressive shorts; valgus; jump-landing; kinematic.

Introdução

A ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA) é uma das lesões ligamentares que mais acomete indivíduos fisicamente ativos e esportistas, ocorrendo na maioria dos casos através de um mecanismo de não contato (Boden, Dean et al. 2000). Nos Estados Unidos há cerca de 250.000 rupturas do LCA por ano (Griffin, Albohm et al. 2006). A lesão do LCA tem incidência de 4 a 6 vezes maior em atletas do sexo feminino, em comparação aos do sexo masculino, para o mesmo tipo de tarefas salto e esportes com mudança de direção (Arendt, Agel et al. 1999). Dentre os fatores que tentam explicar esse maior risco em mulheres, está o fato de apresentarem maiores ângulos de valgo do joelho durante manobras de aterrissagem (Pappas, Hagins et al. 2007), assimetria entre os membros inferiores, déficits no controle neuromuscular (Hewett, Ford et al. 2010), e maior lassidão ligamentar em virtude da ação hormonal (Shultz; 2015).

Ao longo dos anos, foram desenvolvidas quatro teorias principais na tentativa de entender os mecanismos da lesão de LCA: teoria do ligamento, teoria do quadríceps, teoria do tronco e teoria das assimetrias. Dentre estas, a teoria do ligamento é a mais associada com o risco de lesão em mulheres (Hewett, Myer et al. 2005), e refere-se ao posicionamento do joelho em valgo durante tarefas dinâmicas e manobras de aterrissagem, acarretando maior sobrecarga nas estruturas ligamentares e estabilizadoras do joelho (Hewett, Ford et al. 2010).

A fadiga muscular está associada com a redução da eficiência e capacidade de gerar força muscular após a realização de um exercício (Gandevia, Allen et al. 1995). Esse mecanismo desencadeia uma série de alterações na biomecânicas dos membros inferiores e que podem aumentar o risco de lesões de joelho, como alterações nos parâmetros cinemáticos e cinéticos durante os saltos (Pappas, Hagins et al. 2007; Liederbach, Kremenec et al. 2014), diminuição na ativação e coordenação muscular de membros inferiores (Longpre, Acker et al. 2015) e diminuição na capacidade de absorção de cargas externas, que podem causar a perda da estabilidade articular (Tamura, Akasaka et al. 2016).

Roupas compressivas têm sido utilizadas com diferentes objetivos, dentre eles a melhora no desempenho em tarefas de saltos repetidos (Goto, Mizuno et al. 2017), redução da oscilação muscular e

amplitude de movimento de quadril durante o salto (Bernhardt and Anderson 2005) e diminuição do ângulo de flexão de joelho e do valgo do joelho em tarefas de aterrissagem (de Britto, Lemos et al. 2017). A redução da amplitude do joelho no plano sagital e frontal durante a aterrissagem pode ser considerada benéfica no sentido de prevenir lesões de LCA. Estudos relacionando com roupas compressivas, fadiga muscular e risco de lesão ligamentar ainda são raros.

Se o uso da compressão em membros inferiores pode ter esse efeito sobre a cinemática do salto, e a fadiga muscular pode ser um fator de risco justamente por alterar a cinemática da aterrissagem desse movimento, poderia a compressão auxiliar na prevenção por minimizar os efeitos da fadiga sobre a cinemática da aterrissagem de saltos? Nesse estudo buscamos responder essa pergunta. Nossa hipótese foi de que o uso de uma bermuda compressiva reduziria a amplitude de movimento de joelho nos planos sagital e frontal em uma condição de fadiga muscular, o que contribuiria para um mecanismo de proteção frente a alguns fatores de risco.

Materiais e Métodos

Participantes

Onze mulheres fisicamente ativas participaram desse estudo, que foi aprovado pelo comitê de ética da instituição local. Elas foram informadas sobre os benefícios e os riscos da participação do estudo antes de assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido para participar da pesquisa. As participantes tinham média (desvio padrão) de 23 (3) anos de idade, estatura 1,65 (3,1) m, massa corporal 62 (7) kg, e índice de massa corporal de 22,52 (1,4) kg/cm². Os critérios de inclusão foram ter idade entre 16 e 35 anos e praticar exercícios físicos regularmente, no mínimo três vezes por semana, com duração de 45 minutos por sessão, nos últimos três meses. Participantes foram excluídos se apresentassem histórico de lesão de membros inferiores nos últimos seis meses ou se realizassem treinos específicos sobre técnicas de salto e aterrissagem. Estado nutricional e de hidratação não foram controlados, porém, as participantes foram instruídas a não realizar nenhum exercício vigoroso num período de 24 horas antes dos testes. O desenho experimental do estudo pode ser observado na figura 1.

Desenho Experimental



Figura 1. Fluxograma do desenho experimental; SVM: salto vertical máximo.

Tarefas de Salto

As tarefas de salto-aterrissagem investigadas foram: Salto em queda de 20 cm com contramovimento: partindo de cima de um degrau (posicionando a 20 cm das plataformas de força e com uma altura de 20 cm), a participante deveria primeiramente apenas cair de cima da caixa (com um pé em cada plataforma) e imediatamente após a aterrissagem, saltar para cima o mais alto possível; Salto para frente com contramovimento: partindo de uma distância de 20 cm das plataformas de força, a participante deveria saltar para frente o mais alto possível, e imediatamente após a aterrissagem, saltar novamente para cima novamente o mais alto possível. Durante a execução das tarefas, os participantes foram instruídos a manter suas mãos na cintura e olhando para frente, para uma tentativa ser considerada válida o sujeito deve aterrissar com um pé em cada plataforma, sem perder o equilíbrio. A ordem dos saltos foi alternada entre as participantes, por exemplo: participante 01 realizou os saltos na ordem Drop 20 cm e Salto para frente, participante 02 realizou na ordem Salto para frente e Drop 20 cm.

As variáveis cinemáticas avaliadas foram: pico de flexão e de valgo do joelho durante a aterrissagem e as assimetrias entre a perna direita e a perna esquerda. As variáveis angulares foram determinadas bilateralmente durante o ciclo da aterrissagem, definido pelo tempo entre o contato inicial e o pico de flexão de joelho. Os valores cinemáticos foram extraídos do segundo salto das tarefas de salto-aterrissagem por apresentar maior risco de lesão para o joelho (Bates, Ford et al. 2013).

Protocolo de Fadiga

Previamente ao início das tarefas de salto, cada participante realizou três saltos verticais máximos para determinar a média da altura máxima do salto e executaram as tarefas de salto na condição com bermuda e sem fadiga. Para o protocolo de fadiga, as participantes realizaram uma série de 100 step ups (50 repetições para cada membro inferior) em uma caixa de 32 cm e 15 saltos verticais máximos (Liederbach, Kremenec et al. 2014). Ao final de cada série, foi mensurada a altura do salto vertical máximo e as participantes foram questionadas sobre a sensação subjetiva de fadiga através da Escala de Borg Modificada, sendo considerado um valor de fadiga um resultado de 8 a 10 (Borg, Borg et al. 2010). No caso de a fadiga não ser detectada, a participante continuava a realizar o protocolo até a altura do salto vertical ter um decréscimo de 10% da altura inicial. Quando as participantes fadigaram, elas repetiram as tarefas de saltos nas condições com bermuda compressiva e sem bermuda compressiva. No momento de troca da bermuda, a fadiga era verificada novamente e se necessário, o protocolo de fadiga era realizado novamente.

Coleta de dados

No dia da avaliação em laboratório, cada participante respondeu perguntas de uma anamnese e foram feitas medidas antropométricas. Para a avaliação cinemática foi utilizado o modelo Plug-in-Gait Full Body (Vicon Motion Systems, Oxford, UK), com o uso de 39 marcadores reflexivos em pontos de referência anatômica no corpo das participantes. Os marcadores foram fixados com fita adesiva para minimizar movimentos dos mesmos. Os movimentos foram capturados com 15 câmeras infravermelho (Bonita B10, Vicon Motion System, Oxford, UK) com taxa de amostragem de 120 Hz. A bermuda compressiva utilizada no estudo foi da marca new adidas® TechFit® (84% poliéster e 16% elastano, e o nível de compressão de 11.3 mmHg, 10,5 mmHg e 8.3 mmHg para os tamanhos P, M e G, respectivamente; valores reportados pelo fabricante) e a bermuda não compressiva foi de uma marca

genérica. As bermudas apresentavam cores e tamanhos similares, o tamanho para cada participante foi definido através do mesmo tamanho P, M e G utilizadas no dia a dia.

Análise dos Dados

Os dados foram processados utilizando o software Nexus 1.5.2 e códigos personalizados escritos em MATLAB®. Os dados foram filtrados com um filtro Butterworth de 4ª ordem com frequência de corte de 10 Hz. O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados e a comparação das condições das bermudas e de fadiga foi feita com uma análise de variância para medidas repetidas, com post hoc de Tukey. Para comparação da altura do salto pré e pós protocolo de fadiga foi utilizado um teste t pareado. O nível de significância adotado foi 0,05 e todas análises consideraram um intervalo de confiança de 95%.

Resultados

Para as variáveis cinemáticas relacionadas aos valores do pico do ângulo de flexão e valgo do joelho em tarefas de salto, não foram encontradas diferenças significativas em relação ao efeito da bermuda compressiva em situações sem fadiga e com fadiga. Todos os resultados estatísticos das variáveis cinemáticas estão apresentados nas figuras 2 e 3.

Para o ângulo valgo do joelho da perna esquerda no salto para frente não houveram diferenças significativas entre as condições: compressão vs controle ($p=0,244$), compressão vs compressão fadiga ($p=0,999$), controle vs controle fadiga ($p=0,767$), compressão fadiga vs controle fadiga ($p=0,813$). Para o ângulo valgo do joelho da perna direita não houve diferença significativa entre as condições: compressão vs controle ($p=0,913$), compressão vs compressão fadiga ($p=0,448$), controle vs controle fadiga ($p=0,999$), compressão fadiga vs controle fadiga ($p=0,917$). O ângulo de flexão do joelho esquerdo no salto para frente não apresentou diferença significativa entre as condições: compressão vs

controle ($p=0,998$), compressão vs compressão fadiga ($p=0,959$), controle vs controle fadiga ($0,881$), compressão fadiga vs controle fadiga ($0,983$). Para o ângulo de flexão do joelho direito no salto para frente não apresentou diferença significativa: compressão vs controle ($p=0,557$), compressão vs compressão fadiga ($p=0,307$), controle vs controle fadiga ($p=0,988$), compressão fadiga vs controle fadiga ($p=0,999$).

No salto em queda de 20 cm, não houve diferença significativa para o ângulo do valgo do joelho da perna esquerda: compressão vs controle ($p=0,239$), compressão vs compressão fadiga ($0,963$), controle vs controle fadiga ($0,594$), compressão fadiga vs controle fadiga ($p=0,999$). Para perna direita: compressão vs controle ($p=0,997$), compressão vs compressão fadiga ($p=0,571$), controle vs controle fadiga ($p=0,999$), compressão fadiga vs controle fadiga ($p=0,822$). Para o ângulo de flexão do joelho da perna esquerda no salto em queda de 20 cm não houve diferença estatística para: compressão vs controle ($p=0,9937$), compressão vs compressão fadiga ($p=0,997$), controle vs controle fadiga ($p=0,750$), compressão fadiga vs controle fadiga ($0,708$). Para a perna esquerda também não houve diferença significativa nas condições: compressão vs controle ($p=0,820$), compressão vs compressão fadiga ($0,999$), controle vs controle fadiga ($p=0,404$), compressão fadiga vs controle fadiga ($p=0,094$).

Na análise da assimetria dos ângulos do joelho entre os membros inferiores houve diferença significativa no ângulo do valgo do joelho para as condições: bermuda compressiva sem fadiga no salto para frente ($p=0,004$) e bermuda compressiva sem fadiga no salto de queda em 20 cm ($p=0,009$).

Para os valores da altura do Salto Vertical Máximo, o protocolo de fadiga diminuiu significativamente a altura do salto na tarefa ($p=0,0126$), sem efeito da bermuda compressiva sobre o desempenho no salto. Todos os resultados estatísticos dos valores da altura do salto no SVM estão apresentados na figura 4.

Salto para frente

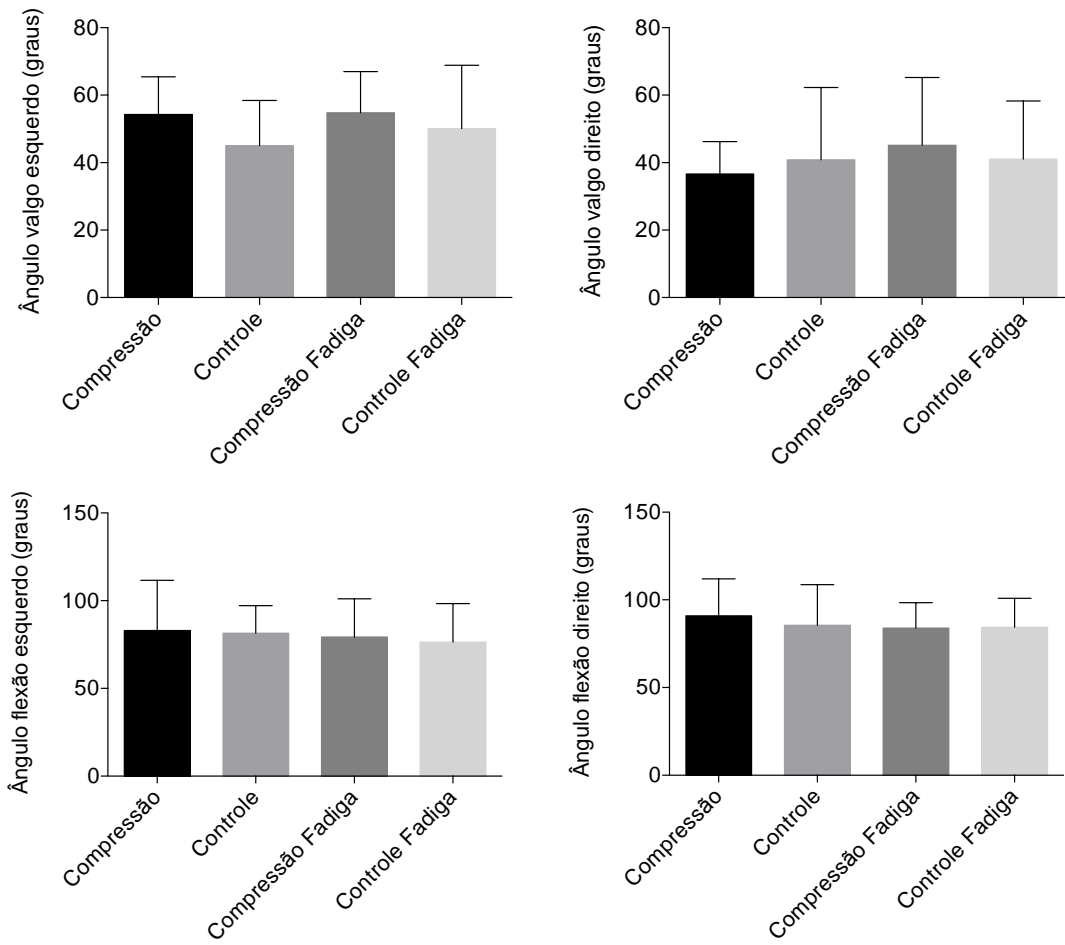


Figura 2. Variáveis cinemáticas do ângulo de flexão do joelho e do valgo do joelho, para a comparação das condições compressão, controle, compressão fadiga e controle fadiga para tarefa do salto para frente.

Salto em queda de 20 cm

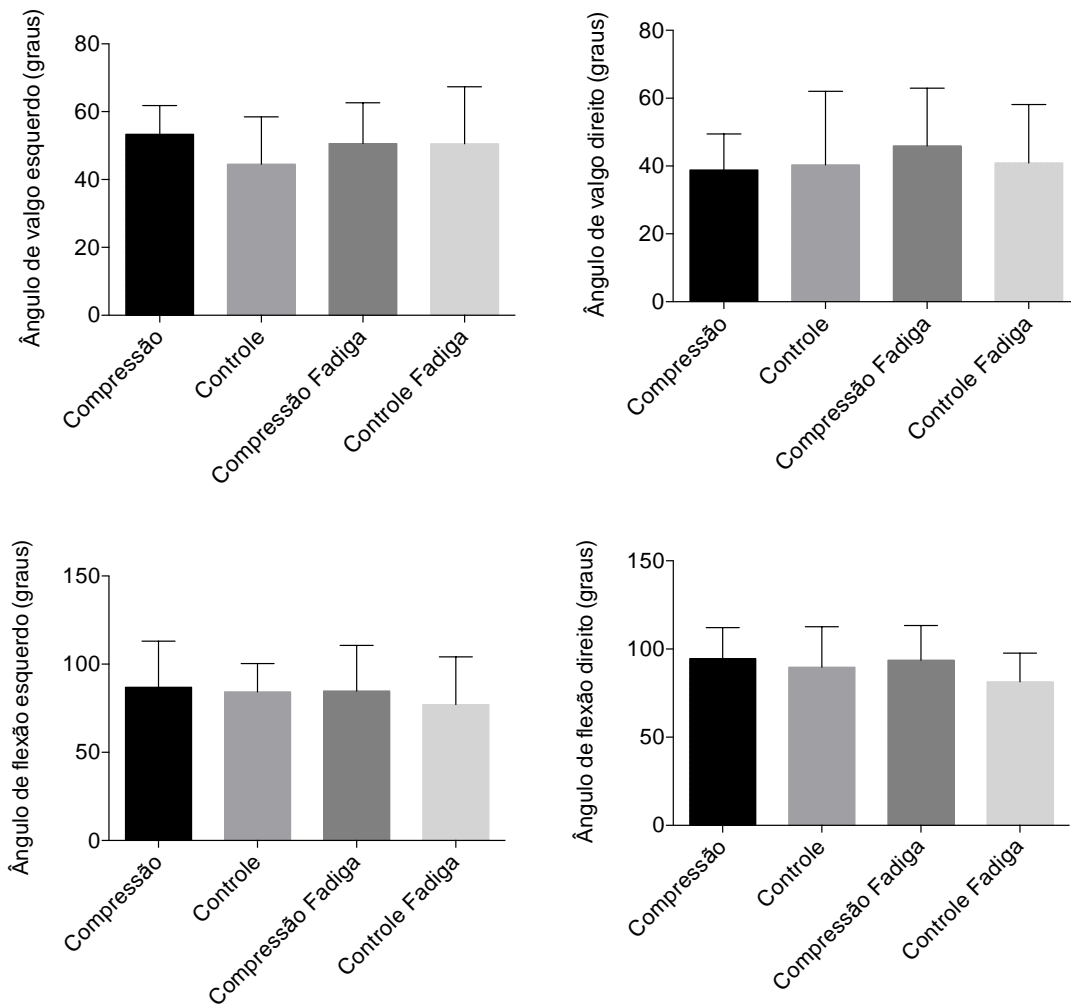


Figura 3. Variáveis cinemáticas do ângulo de flexão do joelho e do valgo do joelho, para a comparação das condições compressão, controle, compressão fadiga e controle fadiga para tarefa do salto em queda de 20 cm.

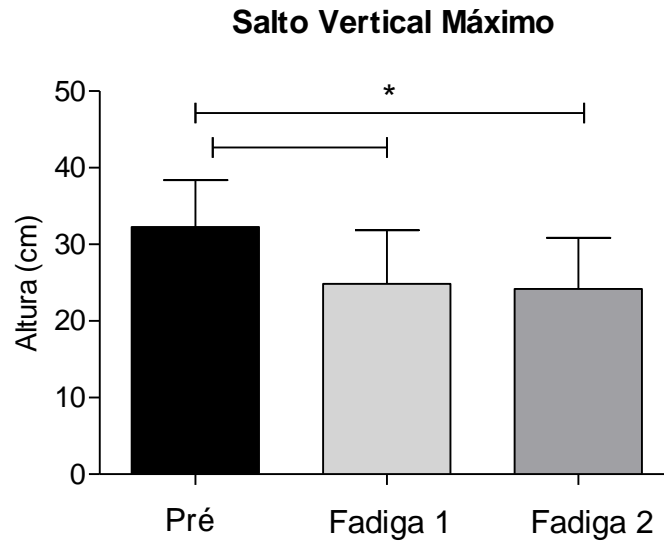


Figura 4. Valores da altura do salto na tarefa do Salto Vertical Máximo (SVM), comparando as condições pré e pós fadiga. * indica diferença significativa entre as situações.

Discussão

Neste estudo nosso objetivo foi determinar a influência de uma bermuda compressiva nas variáveis angulares do joelho em tarefas de salto-aterrissagem em duas condições: sem fadiga muscular e com fadiga muscular. A bermuda compressiva não teve um efeito positivo sobre as variáveis do pico do ângulo de flexão e valgo de joelho em tarefas de salto. Os dados podem indicar que talvez a bermuda compressiva, acima dos joelhos não seja uma vestimenta capaz de reduzir os fatores de risco para lesões no joelho em atividades e exercícios físicos que induzam níveis de fadiga muscular em tarefas de salto e aterrissagem.

As bermudas compressivas têm efeito sobre a biomecânica do joelho, reduzindo os ângulos de flexão de joelho e valgo do joelho no contato inicial e o pico dos ângulos em diferentes tipos de tarefas de salto-aterrissagem (de Britto, Lemos et al. 2017). Esse efeito da bermuda compressiva sobre os ângulos do joelho pode ser explicado pela capacidade da vestimenta em reduzir a oscilação muscular durante tarefas dinâmicas, o que pode favorecer uma melhor produção de força e senso de posição do membro inferior (Bernhardt and Anderson 2005). Em nosso estudo, a bermuda compressiva não foi

eficaz para diminuir os ângulos de flexão e valgo do joelho. A fadiga muscular pode ter influenciado sobre o efeito da roupa compressiva sobre os valores cinemáticos dos membros inferiores, não sendo eficaz para redução dos valores de flexão e valgo do joelho. A fadiga muscular é capaz de induzir alterações na cinemática dos membros inferiores, aumentando os valores do valgo do joelho em tarefas de salto (Pappas, Hagins et al. 2007; Liederbach, Kremenec et al. 2014), o que pode ter acontecido neste estudo. No entanto, isso não explica o fato da bermuda de compressão não influenciar a cinemática em uma condição de salto sem fadiga, como observado em estudo anterior (de Britto, Lemos et al. 2017). Entre os motivos para essa diferença entre os estudos pode residir no fato de que aqui avaliamos apenas o pico dos ângulos de flexão e valgo no joelho no momento da aterrissagem, e não avaliamos os ângulos no contato inicial. No estudo realizado por de Britto e colaboradores, 2017, a bermuda compressiva foi capaz de reduzir os valores do valgo do joelho no contato inicial ao solo, isso pode ser explicado pelo efeito da compressão sobre a redução da oscilação muscular, permitindo um melhor controle dos membros inferiores durante a execução da tarefa (Bernhardt and Anderson 2005). Adicionalmente, embora represente um erro metodológico, o grupo de participantes no presente estudo foi menor do que o observado no estudo que mostrou efeitos positivos da compressão sobre os fatores de risco para lesão.

O uso das roupas compressivas durante ou após a prática de exercício físico vem substancialmente aumentando. As vestimentas compressivas são utilizadas com diferentes objetivos, como na recuperação dos sintomas da dor muscular de início tardio (DMIT) e redução de marcadores inflamatórios (Kraemer, Flanagan et al. 2010), na recuperação e/ou manutenção da força e potência (Goto and Morishima 2014; Goto, Mizuno et al. 2017), e como ferramenta para redução do ângulo de flexão e valgo do joelho em tarefas de salto-aterrissagem (de Britto, Lemos et al. 2017). O uso de roupas compressivas durante ou após o exercício gera bastante discussão, com resultados controversos. A utilização da roupa compressiva por 24 horas após um protocolo de exercícios resistidos para membros superiores e membros inferiores promoveu a recuperação mais rápida de uma contração voluntária máxima (CVM) para os músculos extensores do joelho em relação ao grupo controle (Goto and Morishima 2014). O uso da bermuda compressiva durante a execução de 10 saltos de contra movimento (CMV) promoveu uma melhora na produção de força e na manutenção da potência em comparação aos

participantes que utilizaram uma bermuda sem compressão (Kraemer, Bush et al. 1996). A fadiga muscular causa alterações maléficas ao sistema musculoesquelético, reduzindo a eficiência e a capacidade de gerar força, o que pode acarretar em alterações cinemáticas nos membros inferiores e aumentar o risco de lesão do LCA (Gandevia, Allen et al. 1995; Liederbach, Kremenic et al. 2014). Em nosso estudo, o protocolo de fadiga muscular foi eficaz em reduzir o desempenho na altura do salto vertical máximo (SMV) e aumentar os ângulos de flexão e valgo do joelho. Acreditamos que fadiga muscular induzida pelo exercício pode ter causado grandes repercussões na capacidade de produção de força e absorção de cargas externas, ocasionando em uma perda do controle dos membros inferiores e piora nos parâmetros cinemáticos, assim, minimizando os efeitos da bermuda compressiva sobre a biomecânica do joelho.

Mulheres apresentam maiores chances de sofrer lesões do LCA em comparação aos homens, o que pode ser explicado através da teoria da assimetria entre pernas. Teoria que se refere a mulheres possuírem déficits no controle neuromuscular, que podem gerar perdas do controle do movimento durante atividades dinâmicas, diferenças nos padrões recrutamento e força muscular entre os membros inferiores (Hewett, Ford et al. 2010), e maiores assimetrias cinemáticas para o ângulo do valgo do joelho no salto para frente (Pappas and Carpes 2012). As bermudas compressivas apresentam um efeito sobre a biomecânica do membro inferior, reduzindo os valores dos ângulos de flexão e valgo do joelho (de Britto, Lemos et al. 2017), e a amplitude do quadril durante a aterrissagem (Bernhardt and Anderson 2005), entretanto, não se encontra na literatura evidências científicas que suportem seus benefícios para correção de assimetrias em tarefas de salto.

Conclusão

O uso da bermuda compressiva não foi eficaz na redução da amplitude de movimento do joelho nos planos sagital e frontal em uma condição de fadiga. Estes resultados carecem de confirmação com a complementação do grupo de participantes para satisfazer a amostra requerida para garantir adequada potência estatística.

Referências

- Arendt, E. A., J. Agel, et al. (1999). "Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women." J Athl Train **34**(2): 86-92.
- Bates, N. A., K. R. Ford, et al. (2013). "Kinetic and kinematic differences between first and second landings of a drop vertical jump task: implications for injury risk assessments." Clin Biomech (Bristol, Avon) **28**(4): 459-466.
- Bernhardt, T. and G. S. Anderson (2005). "Influence of moderate prophylactic compression on sport performance." J Strength Cond Res **19**(2): 292-297.
- Boden, B. P., G. S. Dean, et al. (2000). "Mechanisms of anterior cruciate ligament injury." Orthopedics **23**(6): 573-578.
- Borg, E., G. Borg, et al. (2010). "An index for breathlessness and leg fatigue." Scand J Med Sci Sports **20**(4): 644-650.
- de Britto, M. A., A. L. Lemos, et al. (2017). "Effect of a Compressive Garment on Kinematics of Jump-Landing Tasks." J Strength Cond Res **31**(9): 2480-2488.
- Gandevia, S. C., G. M. Allen, et al. (1995). "Central fatigue. Critical issues, quantification and practical implications." Adv Exp Med Biol **384**: 281-294.
- Goto, K., S. Mizuno, et al. (2017). "Efficacy of wearing compression garments during post-exercise period after two repeated bouts of strenuous exercise: a randomized crossover design in healthy, active males." Sports Med Open **3**(1): 25.
- Goto, K. and T. Morishima (2014). "Compression garment promotes muscular strength recovery after resistance exercise." Med Sci Sports Exerc **46**(12): 2265-2270.
- Griffin, L. Y., M. J. Albohm, et al. (2006). "Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005." Am J Sports Med **34**(9): 1512-1532.
- Hewett, T. E., K. R. Ford, et al. (2010). "Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010." N Am J Sports Phys Ther **5**(4): 234-251.
- Hewett, T. E., G. D. Myer, et al. (2005). "Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study." Am J Sports Med **33**(4): 492-501.
- Kraemer, W. J., J. A. Bush, et al. (1996). "Influence os compression garments on vertical jump performance in NCAA division I volleyball players." J Strength Cond Res **10**: 180-183.
- Kraemer, W. J., S. D. Flanagan, et al. (2010). "Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women." J Strength Cond Res **24**(3): 804-814.
- Liederbach, M., I. J. Kremenec, et al. (2014). "Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 2: Influence of fatigue and implications for anterior cruciate ligament injury." Am J Sports Med **42**(5): 1089-1095.
- Longpre, H. S., S. M. Acker, et al. (2015). "Muscle activation and knee biomechanics during squatting and lunging after lower extremity fatigue in healthy young women." J Electromyogr Kinesiol **25**(1): 40-46.
- Pappas, E. and F. P. Carpes (2012). "Lower extremity kinematic asymmetry in male and female athletes performing jump-landing tasks." J Sci Med Sport **15**(1): 87-92.
- Pappas, E., M. Hagins, et al. (2007). "Biomechanical differences between unilateral and bilateral landings from a jump: gender differences." Clin J Sport Med **17**(4): 263-268.
- Shultz,, S. J. (2015). "ACL Research Retreat VII: An Update on Anterior Cruciate Ligament Injury Risk Factor Identification Screening, and Prevention." National Athletic Trainers Association **10**: 1076-1093.

Tamura, A., K. Akasaka, et al. (2016). "Fatigue Alters Landing Shock Attenuation During a Single-Leg Vertical Drop Jump." Orthop J Sports Med **4**(1): 2325967115626412.