

EFEITO DA ELEVAÇÃO EM SEIS GRAUS DO TALÃO SOBRE A ARTICULAÇÃO METACARPOFALANGIANA DE EQUINOS

EFFECTS OF SIX DEGREES ELEVATION OF THE HEELS ON EQUINE METACARPOPHALANGEAL JOINT

R. M. ALBERNAZ^{1*}, R. C. BASILE², D. P. M. DIAS¹, A. O. PAIVA NETO¹,
C. BERKMAN¹, A. QUEIROZ-NETO², J. C. LACERDA-NETO¹

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o ângulo dorsal da articulação metacarpofalangiana em animais utilizando ferraduras planas e com elevação em 6° do talão. Sete equinos saudáveis da raça Árabe foram submetidos à análise tridimensional do movimento ao passo em esteira rolante. Os dados foram gravados por três câmeras de vídeo digitais e três marcadores esféricos reflexivos posicionados na extremidade proximal do terceiro osso metacarpiano, articulação metacarpofalangiana e extremidade distal da primeira falange. Utilizando o programa Dvideo, o ângulo articular foi medido no instante em que o metacarpo apresentava 90° com solo durante a fase de apoio. As imagens foram sincronizadas e segmentadas, procedendo-se a reconstrução tridimensional com o algoritmo DLT. Os ângulos dorsais da articulação metacarpofalangiana não apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) entre as condições de ferraduras planas e com elevação de talão. Sugere-se que as alterações angulares tenham sido absorvidas em sua maior parte pelas articulações interfalangianas distal e proximal.

PALAVRAS-CHAVE: Biomecânica. Cinemática. Equino. Metacarpofalangiana.

SUMMARY

The purpose of this study was to evaluate the metacarpophalangeal joint dorsal angle and the effect of 6 degrees elevation of the heels on three dimensional kinematic analysis. The kinematic analysis was performed on a treadmill using seven sound Arabian horses. The calibration system and markers tridimensional coordinates were obtained by image processing using Dvideo software. The reflexive skin markers were placed on the third metacarpus, metacarpophalangeal joint and proximal phalanx of the left forelimb. DLT algorithm were used for three dimensional reconstruction. Use of heel wedges were not statistically different between conditions ($p < 0,05$). Some authors suggested that the effect of the wedge is absorbed by the interphalangeal joints.

KEY-WORDS: Biomechanics. Equine. Kinematic. Metacarpophalangeal.

¹Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária, FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP. Endereço para correspondência: Raquel Mincarelli Albernaz. Rua Maria Fonseca Marino, 161, casa 02. Nova Aparecida. CEP 14883-372. E-mail: raquel_albernaz@hotmail.com. Telefone: (16) 32092654 ramal 543, Fax : (16) 32025500.

² Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, FCAV/UNESP, Jaboticabal - SP.

INTRODUÇÃO

Durante a passada, a articulação metacarpofalangiana (AMF) de equinos é submetida à tensão dos tecidos moles de sustentação e articulações distais dos membros. A extensão durante a fase de apoio e a flexão durante a fase de elevação podem estar relacionadas à lesão devido à composição anatômica desta estrutura permitir ampla gama de movimentos (DENOIX et al., 1996).

Os principais movimentos da AMF são de flexão e extensão (DYCE et al., 1983, RICHARDSON, 2003). Segundo CLAYTON et al. (2007) e CHATEU et al. (2004) os movimentos no plano axial e transversal são consideravelmente menores quando comparados aos movimentos no plano sagital. De acordo com os autores observa-se durante o passo e o trote durante a fase de apoio do membro a extensão da AMF seguida de abdução do membro e a fase de elevação é acompanhada pela flexão desta articulação associada à adução do membro.

Durante o movimento cada passada envolve forças que sobrecarregam ou oferecem resistência ao sistema locomotor (BACK, 2001). O casco funciona como um elemento intermediário na condução das forças entre o sistema musculoesquelético e o solo. Além de suas funções primárias de suporte, proteção e dissipação da energia de impacto, o casco pode ser considerado uma extensão da falange distal, assim como uma alavanca, ou seja, como uma estrutura rígida usada como ponto fixo apropriado para multiplicar a força mecânica que pode ser aplicada a outra estrutura, neste caso, a articulação interfalângiana distal (AID) (PARKS, 2003, O'GRADY & POUPARD, 2003, O'GRADY, 2008).

O casqueamento e o ferrageamento têm influências não só nas estruturas externas do casco como também nas estruturas internas. Para que se tenham animais saudáveis e com bom desempenho atlético, o ferrageamento adequado deve ser considerado primordial (O'GRADY & POUPARD, 2003, O'GRADY, 2008), assim como para o tratamento de alguns tipos de claudicações (ELIASHAR et al., 2002).

Existem duas abordagens complementares para o estudo do corpo em movimento: análise cinética e cinemática. Para modificar a velocidade de um corpo em movimento é preciso atuação de forças externas ao longo do deslocamento. Este trabalho é uma apreciação da energia que o corpo apresenta pelo fato de estar em movimento em relação a um dado sistema de referência. A avaliação cinética é a ciência que estuda o movimento por meio de análise de forças (BARREY, 1997). Esta avaliação pode ser realizada por meio de placa, ferradura ou pista de medição de força (BUCHNER, 2005).

A correlação entre a alteração angular articular e as forças as quais os tendões e ligamentos são submetidos têm sido o enfoque de muitas pesquisas. A maioria destes estudos concentra-se na avaliação do ângulo da AMF associado ao tendão flexor digital superficial (TFDS) e ligamento suspensor. Esses estudos também enfocam o ângulo da articulação interfalângiana proximal e o tendão flexor digital profundo (TFDP),

bem como a força exercida pelo TFDP sobre o osso navicular (RIEMERSMA et al., 1996).

Alguns autores demonstraram que a elevação dos talões induz o relaxamento do TFDP. Este relaxamento do tendão estaria associado à mudança no padrão de flexão e extensão da AID (ELIASHAR et al., 2002, RIEMERSMA et al., 1996).

LAWSON et al. (2007) observaram, durante o trote, a diminuição da tensão do ligamento acessório do TFDP após submeter animais a elevação dos talões. Também foi observado que a elevação do talão provocou aumento da tensão do ligamento suspensor. Com a elevação da pinça, foi observado aumento da tensão do TFDP e diminuição da tensão do ligamento suspensor e TFDS. Segundo os autores, os achados podem ser relacionados com o passo. Segundo BACK, (2001), a análise cinemática realizada ao passo é equivalente e apresenta correlação com a análise ao trote, portanto pode-se prever a cinemática do trote com base nos achados ao passo.

O uso da videogrametria na avaliação cinemática incrementou a obtenção de informações a respeito da biomecânica associada ao efeito dos métodos de ferrageamento sobre o sistema locomotor dos equinos (ELIASHAR, 2007).

A análise cinemática pode ser utilizada para quantificar as características do andamento observadas durante o exame visual. Esta ferramenta permite avaliar o deslocamento assim como medir ângulos articulares em animais saudáveis ou claudicantes (BARREY, 1997, BERTONE, 2003).

A AMF tem sido objeto de estudo principalmente devido à relação sugerida entre a sua projeção angular e a tensão dos tecidos moles adjacentes, sobretudo o ligamento suspensor do boleto e o TFDS (ELIASHAR et al., 2002). Portanto, a melhor compreensão do efeito da elevação do talão sobre o movimento da AMF pode direcionar seu uso clínico no tratamento de lesões do sistema locomotor do equino.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise tridimensional da articulação metacarpofalangiana e o efeito da elevação em 6° do talão foram realizadas no Laboratório de Fisiologia do Exercício Equino e Farmacologia (LAFEQ), Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, SP.

Para este estudo, foram utilizados sete animais clinicamente saudáveis da Raça Puro Sangue Árabe, com idade média de cinco anos, machos e fêmeas, pertencentes ao rebanho experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Os animais foram mantidos em baias individuais e receberam 3 kg de ração concentrada por dia, feno e água à vontade.

Os equinos foram previamente adaptados à realização do exercício em esteira rolante³ e submetidos a exame clínico geral com ênfase ao

³ Esteira Galloper® Sahinco LTDA, 5500, Palmital, SP, Brasil.

sistema locomotor segundo ROSS & DYSON (2005). Somente os animais hígidos foram considerados aptos a participarem desta pesquisa. O presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem Estar (CEBEA) desta instituição⁴.

Os animais selecionados após exame do sistema locomotor foram casqueados por profissional experiente. O ângulo da parede do casco de cada animal foi preservado.

Durante a condição controle do estudo, todos os animais usaram ferraduras planas e participaram do procedimento de gravação de imagens na esteira rolante. Após o término deste procedimento, as ferraduras planas foram substituídas por ferraduras ortopédicas com 6° de elevação no talão. Os equinos foram novamente submetidos à gravação das imagens e então as ferraduras foram removidas.

Para cada tipo de ferradura os animais foram avaliados ao passo em esteira rolante, $v = 1,4\text{m/s}$. Avaliou-se o ângulo da articulação metacarpofalangiana no instante em que o terceiro osso metacarpiano formava 90° em relação ao solo, o qual neste estudo foi denominado fase de suporte. Para cada tipo de ferradura, a coleta dos dados foi realizada em três dias, em dias alternados, durante cinco dias, com o objetivo de se avaliar o período de adaptação do animal a este tipo de intervenção. Para tal procedimento foi realizada a contagem do número de quadros por passada durante 6 passadas.

Para marcação das estruturas anatômicas referenciais, foram utilizados três marcadores esféricos reflexivos de 15 mm de diâmetro apoiados sobre base de velcro fixada à pele do animal com auxílio de cola de secagem rápida para garantir sua permanência durante o movimento.

As regiões anatômicas escolhidas para a colocação dos marcadores foram face proximal lateral esquerda do osso metacarpiano, face lateral esquerda da articulação metacarpofalangiana, face lateral esquerda distal da primeira falange. A pele destas regiões foi previamente tricotomizada, numa área de aproximadamente 2cm^2 para a aderência do velcro.

Os animais foram posicionados em piso plano para o estabelecimento das regiões anatômicas, com a finalidade de minimizar erros durante sua determinação. Segundo ELISHAR et al. (2002) para se obter maior precisão, a marcação não deve ser feita sobre uma proeminência óssea específica, mas sobre o centro de rotação articular.

As paredes do laboratório foram revestidas com tecido cor preto – fosco para acentuar o contraste dos marcadores. As imagens foram gravadas por três câmeras de vídeo⁵ formando ângulo de 45° entre si, sendo duas orientadas com vista para a face lateral esquerda e a terceira câmera com vista frontal do membro anterior esquerdo do animal.

Quatro fios de prumo (calibradores) fixados no teto do laboratório delimitaram a área de filmagem e movimentação do membro anterior esquerdo. Ao longo deste fio de prumo foram distribuídos 6 marcadores

esféricos reflexivos (15 mm de diâmetro) equidistantes entre si. Na extremidade distal de cada calibrador foi colocado um prumo de chumbo cônico (pesando 450g) com o objetivo de estabilizar o fio.

A determinação das coordenadas dos marcadores foi realizada utilizando ferramentas topográficas convencionais. Para cada um dos 24 calibradores foi determinado o valor de suas coordenadas no espaço em relação a um ponto zero, previamente delimitado, sendo X, Y e Z equivalentes a comprimento, largura e altura respectivamente.

A reconstrução tridimensional das coordenadas dos marcadores foi realizada pelo programa Dvideo (FIGUEROA et al., 2003), o qual se baseia no método DLT (Direct Linear Transformation).

As imagens foram segmentadas no intervalo de interesse. Analisou-se a sequência de seis passadas completas, sincronizadas entre as câmeras com o uso da claquete.

Após o rastreamento das imagens o programa de análise do movimento utilizado (Dvideo) oferece um arquivo de dados contendo as coordenadas espaciais dos marcadores medidos em cada campo.

Os dados foram filtrados com o filtro Butterworth de 4ª ordem e frequência de 8Hz utilizando-se o programa Matlab® 7.4. O cálculo dos ângulos foi realizado utilizando-se ferramentas de análise vetorial. A exatidão do método foi comprovada por meio de teste de medidas conhecidas, obtendo-se $CV = 1,15\%$.

Os dados foram submetidos aos testes de pressuposições para normalidade dos erros (Teste de Kolmogorov Smirnov) e homogeneidade das variâncias (homocedasticidade) (Teste de Levene) com nível de significância estipulado em 5%. Após este procedimento as variáveis foram submetidas à análise de variância (Teste F) e a partir desta, caso houvesse diferença ($p < 0,05$), submetidas ao Teste de Tukey para comparações das médias entre os grupos e os tempos avaliados dentro de cada tratamento. Em todos os testes, o nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, a análise cinemática tridimensional, realizada com o auxílio da videogrametria, permitiu a investigação quantitativa do ângulo da AMF por meio de imagens digitalizadas.

A utilização da esteira rolante, que oferece o controle da velocidade, assim como das condições ambientais, garantiu maior uniformidade e padronização do movimento. Segundo Bertone (2003), a esteira rolante é uma ferramenta útil para tal análise em condições controladas a velocidades constantes. A esteira rolante permite ainda a gravação das passadas ao longo do tempo sem que haja movimento da câmera de gravação.

Para melhor confiabilidade dos dados, realizou-se o teste de aferição da precisão de medidas, ou teste do bastão, por meio do qual foi possível conferir o sistema de calibração e das coordenadas espaciais do movimento. Neste estudo, obteve-se coeficiente de variação de 1,15%. A partir deste método foi possível

⁴ Protocolo 028057-08

⁵ Câmera filmadora Panasonic AG- DVC20 MiniDV

demonstrar a precisão do sistema, o qual permitiu a obtenção de dados confiáveis.

O período de adaptação à ferradura foi avaliado em três dias, em dias alternados, durante cinco dias, mediante análise do número de quadros por passada. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

De acordo com CHATEU et al. (2004) não é recomendado realizar a análise imediatamente após o ferrageamento pois são necessários cinco dias para que o animal se adapte à nova ferradura. No presente estudo, não houve diferença significativa entre os dias avaliados, porém, observou-se durante os dois primeiros dias maior incidência de tropeções e aparente incoordenação do membro torácico.

Os resultados obtidos na análise da variação angular da articulação metacarpofalângiana estão apresentados na Tabela 2.

Os dados obtidos neste trabalho foram submetidos à comprovação das premissas relativas à análise de variância (ANOVA). Verificou-se que os resíduos são aleatórios e apresentam distribuição normal ($p > 0,05$) por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov e que os dados possuem homocedasticidade, demonstrada pelos testes de Levene e Bartlett ($p > 0,05$).

No presente estudo, não foram observadas alterações no ângulo dorsal da articulação metacarpofalângiana durante a fase de apoio do passo, no instante de suporte, na condição de elevação do talão e ferraduras planas. Estes resultados indicam que a alteração angular do casco não produziu efeito sobre a articulação estudada e possivelmente outra estrutura anatômica está envolvida neste processo.

Segundo DENOIX (1999), as articulações distais no membro anterior dos equinos sofrem sobrecarga durante a locomoção, principalmente devido a alterações do plano sagital. A articulação interfalângiana distal é uma das mais acometidas, sendo a mais influenciada pelo casqueamento e ferrageamento corretivo.

Os achados de Chateau et al. (2006) corroboram com o presente estudo. Neste ensaio, os autores concluíram que a elevação em 6° do talão aumentou significativamente a flexão máxima e diminuiu a extensão máxima das articulações interfalângianas. A elevação em 6° da pinça diminuiu a flexão máxima de ambas as articulações e aumentou o grau de extensão máximo da articulação interfalângiana distal. A elevação em 6° da pinça e talão não alterou a flexão e extensão da articulação metacarpofalângiana ao trote. Neste estudo, os autores sugerem que a articulação interfalângiana proximal e distal absorva os efeitos desta alteração no ângulo da parede do casco.

Tabela 1 - Média \pm desvio padrão do número de quadros por passada em relação às condições de ferrageamento obtidos na análise do período de adaptação.

Tratamento	Tempo		
	Dia 1	Dia 2	Dia 3
Basal	67,75 \pm 2,85	66,86 \pm 2,25	66,61 \pm 2,42
Talão	69,43 \pm 3,42	68,93 \pm 3,37	69,57 \pm 3,37

Tabela 2 - Média \pm Desvio Padrão [graus] do ângulo da articulação metacarpofalângiana de equinos usando ferradura basal e submetidos a elevação em seis graus do talão

Tratamento	Média \pm Desvio Padrão [graus]
Basal	131.79 \pm 5.90
Talão	134.62 \pm 9.72

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a elevação em 6° do talão não produziu alteração do ângulo dorsal da articulação metacarpofalângiana mediante avaliação utilizando-se videogrametria. Alguns pesquisadores verificaram que a maior parte do ângulo de elevação dos talões é compensada pelas articulações interfalângianas distal e proximal.

REFERÊNCIAS

- BACK, W. Intra – Limb Coordination. In: BACK, W., CLAYTON, H. **Equine locomotion**. London : W B Saunders, 2001. cap.5, p.95-134.
- BARREY, E. Locomotion variables. In: BARREY, E., FAZIO, E., FERLAZZO, A., LINDNER, A., RIVERO, J. L. L. **Performance diagnosis of horses**. Netherlandas: Wageningen Pears, 1997, cap.5, p.72 – 96.
- BERTONE, A. L. Gait analysis for the quantification of lameness. In: ROSS, M. W., DYSON, S. **Diagnosis and management of lameness in the horse**. St Louis Missouri: Saunders, 2003. p.222-225.
- BUCHNER, H. H. F. Distal limb internal dynamics: joint moments, tendon forces, and lessons for orthopedic shoeing. **American Association of Equine Practice**, v.51, 2005.
- CHATEAU, H., DEGUEURCE, C., DENOIX, J. M. Effects of 6° elevation of the heels on 3D kinematics of the distal portion of the forelimb in the walking horse. **Equine Veterinary Journal**, London, v.36, n.8, p.649-654, 2004.
- CHATEAU, H., DEGUEURCE, C., DENOIX, J. M. Three-dimensional kinematics of the distal forelimb in horses trotting on a treadmill and effects of elevation of the heel and toe. **Equine Veterinary Journal**, London, v.38, n.2, p.164-169, 2006.
- CLAYTON, H. M., SHA, D. STICK, J., ELVIN, N. 3D Kinematics of the Metacarpophalangeal joint at walk and trot. **Veterinary Comparative Orthopedic Traumatology** Stuttgart, v.20, p.86-91, 2007.
- DENOIX, J. M., STEPHANIE, J. B., BOUSSEAU, B., PERROT, P. Ultrasonographic anatomy of the dorsal and abaxial aspects on the equine fetlock. **Equine Veterinary Journal**, London, v.28, n.1, p.54-62, 1996.

- DENOIX, J. M. Functional anatomy of equine interphalangeal joints. In: *ANNUAL CONVENTION AMERICAN ASSOCIATION EQUINE PRACTICE*, 1999. p. 174-177. Disponível em <www.ivis.org> Acesso em 18/01/2010.
- DYCE, K. M., SACK, W. O., WENSING, C. J. G. **Tratado de anatomia veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.
- ELIASHAR, E., GUIGAN, M. P., ROGERS, K. A., WILSON, A. M. A comparison of three horseshoeing styles on the kinetics of breakover in sound horses. **Equine Veterinary Journal**, London, v.34, n.2, p.184-190, 2002.
- ELIASHAR, E. An evidence-based assessment of the biomechanical effects of the common shoeing and farriery techniques. **Veterinary Clinics: Equine Practice**, Philadelphia, v. 23, p.425-442, 2007.
- FIGUEROA, P. J., LEITE, N. J., BARROS, R. M. L. A flexible software for tracking of markers used in human. Motion analysis. *Comput Methods Programs. Biomed.* 2003, v.72, p.155-165.
- LAWSON, S. E. M., CHATEU, H., POURCELOT, P., DENOIX, J. M., CREVIER DENOIX, N. Effect of toe and heel elevation on calculated tendon strains in the horse and the influence of the proximal interphalangeal joint. **Journal Anatomy**, Cambridge, v.210, p.583-591, 2007.
- O'GRADDY, S. E., POUPARD, D. A. Proper Physiologic horseshoeing. **Veterinary Clinics: Equine Practice**, Philadelphia, v.19, p.333-351, 2003.
- O'GRADDY, S. E. Basic Farriery for the Performance Horse. **Veterinary Clinics: Equine Practice**, Philadelphia, v.24, p.203-218, 2008.
- PARKS, A. The Foot and Shoeing. In: ROSS, M. W., DYSON, S. **Diagnosis and management of lameness in the horse**. St Louis Missouri : Saunders, 2003, p.250-275.
- RICHARDSON, D. W. The Metacarpophalangeal Joint. In: ROSS, M. W., DYSON, S. **Diagnosis and management of lameness in the horse**. St Louis Missouri : Saunders, 2003. p.348-362.
- RIEMERSMA D. J., VAN DEN BOGERT A. J., JANSEN, M. O. Influence of shoeing on ground reaction forces and tendon strains in the forelimbs of ponies. **Equine Veterinary Journal**, London, v.28, p.126-132, 1996.
- ROSS, M. W., DYSON, S. J. **Diagnosis and management of lameness in the horse**. St Louis Missouri : Saunders, 2003. p.348-362.