

Analiza kinematyczna chodów konia

MAŁGORZATA DZIERŻĘCKA, HENRYK KOBRYŃ

Katedra Nauk Morfologicznych, Zakład Anatomii Porównawczej i Klinicznej Wydziału Medycyny Weterynaryjnej SGGW, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Dzierżęcka M., Kobryń H.

Kinematics analysis of equine paces

Summary

The trot is the most important kind of pace in equine kinematics lameness analysis. Therefore the description of the relationship between kinematics and the function during the stance and swing phase in trotting horses has been the object of studies in recent years. How a horse moves was recorded and analyzed in one of those studies by the use of photodiode markers glued to the skin on the lateral side of the left limbs. Kinematics data of equine limbs are presented graphically. This publication shows the results obtained to date in this field with the method using skin markers. These issues merit further research because the method can be used for the diagnostics of subtle changes of limb motion in animal species.

Keywords: horse, limbs, kinematics

Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na możliwości wykorzystania wyników badań kinematycznych w analizie biomechaniki kończyn konia oraz ich przydatności w diagnozowaniu kulawizn.

Analizą kinematyczną chodów konia zajmowano się już we wczesnym okresie poprzedniego stulecia (31), lecz dopiero rozwój techniki stworzył nowe możliwości. Coraz więcej zwolenników zyskują badania mające na celu graficzne zaprezentowanie ruchu kończyn konia w poszczególnych fazach kroku (5, 6, 15, 28, 29). Przy diagnozowaniu kulawizn najważniejszym krokiem jest kłus (25, 30). Dlatego w ostatnich latach zajmowano się opisem czynnościowego położenia kończyn oraz koordynacją ruchów w poszczególnych stawach, głównie podczas tego sposobu przemieszczania (2, 5, 6, 8, 11, 12, 14, 18, 20). Zrozumienie zależności pomiędzy przyczynami kulawizn a tym, w jaki sposób wpływają one na zmiany kroku, mogą być pomocne w diagnostyce, a następnie w określaniu sposobów leczenia (5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 27, 29). Zwraca się uwagę na możliwości wystandaryzowania ruchu kończyn konia w kłusie, a następnie wykorzystania go do wczesnej oceny użytkowej. Na podstawie jakości ruchu można bowiem przeprowadzić wczesną selekcję koni w kierunku ich późniejszej przydatności sportowej (7, 10, 16, 19, 29).

Do opisu danych kinematycznych ruchu konia niezbędne było ustalenie terminologii, co pozwoliło na lepsze wyrażenie i zrozumienie tego zjawiska oraz poprawną interpretację anatomiczną (19, 22, 23).

Kinematyczne metody analizy kroku

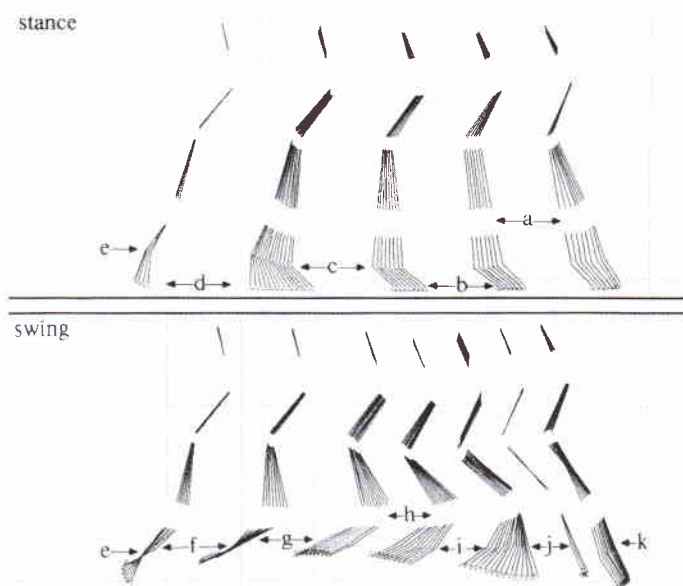
Spośród kinematycznych metod stosowanych w celu analizy kroku najpopularniejsza jest analiza z użyciem markerów fotodiodowych, które przykleja się do skóry bocznej powierzchni kończyn. Istota metody polega na graficznym zapisie ruchu kończyn konia dzięki marke-

rom skórnym emitującym światło (5, 6). Autorzy tych prac przyklejali markery do skóry kończyn na wyczuwalnych strukturach anatomicznych. W kończynie piersiowej były to: część bliższa i dalsza grzebienia łopatki, doogonowa część guzka większego i nadkłykieć boczny kości ramiennej, koniec bliższy i wyrostek rylcowaty boczny kości promieniowej, koniec bliższy i dalszy kości śródreżca III, powierzchnia boczna ściany rógowej kopyta (trzy markery). W kończynie miednicznej markery umieszczano na: guzie biodrowym, krętarzu większym, kostce bocznej, końcu bliższym i dalszym kości śródstopia III oraz trzy markery na ścianie rógowej kopyta – identycznie jak w kończynie piersiowej. Konie poruszały się na taśmie diagnostycznej w kierunku od lewej do prawej. Nagranie wykonano przy prędkości 4 m/s. Dzięki jednoczesnej analizie zależności kątów poszczególnych stawów od fazy kroku opisano czynnościowe położenie kończyn w trakcie ruchu i przedstawiono je w postaci graficznej – ryc. 1 i 2 (5, 6). Metodę markerów stosowali również inni autorzy (13, 29).

Komputerowa analiza położenia każdego z markerów pozwala na ocenę lokomocji. Chodzi tu o długość kroku, jego częstotliwość, ustalenie wartości kątów stawowych i położenie poszczególnych segmentów kończyn w różnych fazach ruchu. Określono kilka parametrów szczególnie istotnych przy diagnozowaniu kulawizn (5, 6, 10).

Opis prawidłowego ruchu kończyn konia w kłusie

Ruch kończyny piersiowej i miednicznej konia w kłusie, z podziałem na fazę obarczenia i wymachu, zaprezentowano graficznie na ryc. 1 i 2. Faza obarczenia kończyny piersiowej trwa od 0% do 40,3% całkowitego czasu trwania kroku (cctk), a faza wymachu od 40,3% do 100% cctk. Maksymalne wysunięcie kończyny piersio-



Ryc. 1. Graficzny zapis prawidłowego ruchu kończyny pierśowej konia w klusie – wg Backa et al. (5)

Objaśnienia: a-k – kolejne fazy kroku

wej następuje przy zapoczątkowaniu jej kontaktu z podłożem, a maksymalne cofnięcie – na końcu fazy obciążania.

Przy zapoczątkowaniu kontaktu z podłożem staw ramienny jest maksymalnie wyprostowany, ale w miarę obciążania jego kąt zmniejsza się do wartości skrajnej przy 14,2% cctk. Staw łokciowy na początku fazy obciążania ulega niewielkiemu wyprostowaniu do 7,6% cctk, a następnie zgięciu. W czasie cofania kończyny staw ten ponownie prostuje się, do osiągnięcia maksimum wyprostowania na końcu fazy obciążania wynoszącego 37,2% cctk. W fazie wymachu wspomniany staw osiąga gwałtownie szczyt zgięcia wyrażony wartością 76,2% cctk.

Na początku fazy obciążania lekko zgięty staw nadgarstka prostuje się gwałtownie. Ulega on tzw. zjawisku zatrząskiwania (clicking phenomenon), które polega na osiągnięciu maksymalnego wyprostowania i pozostawaniu w tej stabilnej pozycji przez część fazy obciążania (1, 5, 6). Staw ten ma istotne znaczenie w podpiętraniu kończyny. Więzadło nadgarstka dłoniowe głębokie zapobiega jego nadwyprostności. Jednak znane są obserwacje kliniczne, że zmęczenie koni pełnej krwi angielskiej na końcu wyścigu stanowi poważne ryzyko złamania kości nadgarstka z powodu tej nadwyprostności (3).

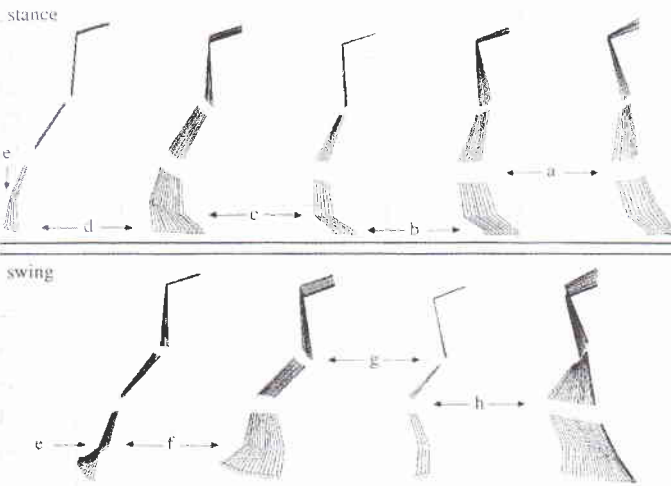
Tuż po zapoczątkowaniu kontaktu z podłożem staw śródrečno-członowy (pęciny) gwałtownie się prostuje i osiąga maksymalne wyprostowanie przy 21,5% cctk (ryc. 2, faza e). Tuż po oderwaniu kopyta od podłoża następuje pierwszy szczyt zgięcia wyrażony 46,8% cctk, następnie staw ulega nieznacznemu wyprostowaniu, po czym ponownie zgina się, osiągając drugi szczyt zgięcia przy 73,7% cctk. Staw międzyczłonowy dalszy (kopytowy) wykazuje zgięcie podczas gwałtownego obciążenia kończyny na początku fazy obciążania. Przy 15,2% cctk tuż po przejściu środka fazy zgięcie tego

stawu jest maksymalne. Jest on natomiast w największym stopniu wyprostowany przy 36,6% cctk. Przy podrywaniu opuszek rogowych staw kopytowy rozpoczyna zginanie do osiągnięcia jego szczytu na początku fazy wymachu 47,5% cctk. Odpoczynek w fazie wymachu składa się z ruchu wahadłowego, którego zakres i czas trwania są osobniczo zmienne i posiadają szerokie odchylenia standardowe. Jeśli koń wykazuje zaburzenia w poszczególnych fazach ruchu kończyny pierśowej, to ruch stawów nadgarstka i pęciny wydają się wystarczające do wykrycia obecności problemów koordynacji całej kończyny, tym bardziej, że błąd powodowany przesunięciami markerów skórnych umieszczonych poniżej nadgarstka jest dużo mniejszy niż ulokowanych wyżej.

Jednocześnie wykazano, że praca niektórych stawów jest zsynchronizowana. Oddziaływanie masy konia na kończynę pierśową przy zapoczątkowaniu jej kontaktu z podłożem powoduje wyprostowanie stawu pęciny i zgięcie stawów: kopytowego i ramiennego. W fazie, gdy łopatka jest maksymalnie cofnięta – staw łokciowy i kopytowy są w największym stopniu wyprostowane. Podniesienie palca (ryc. 1, faza e) i gwałtowne zgięcie stawu pęciny doprowadza do dalszego zginania nadgarstka już na początku fazy wymachu. Po szczycie zgięcia stawu pęciny (ryc. 1, faza f) i podczas gwałtownego zgięcia stawu nadgarstka, staw pęciny się prostuje (ryc. 1, faza g). Po maksymalnym zgięciu stawu nadgarstka (ryc. 1, faza h) staw ten się prostuje, a staw pęciny – zgina (ryc. 1, faza i). Istnieją wzajemne relacje pomiędzy motoryką stawu nadgarstka a stawu pęciny w fazie wymachu. Na końcu fazy wymachu obserwuje się także synchroniczne prostowanie stawu łokciowego i nadgarstka, co daje w efekcie cofnięcie dystalnej części kończyny.

Ruch kończyny pierśowej porównano do wahadła z punktem rotacji w bliższej części łopatki. Mięśnie łopatki i ramienia zapoczątkowują wysunięcie i cofnięcie kończyny, zaś część dystalna porusza się biernie (5, 6). Ściągnięta mięśnie zginaczy powierzchownego i głębokiego palców przy obciążaniu magazynują energię potencjalną, która jest uwalniana podczas wymachu kończyny pierśowej w postaci energii kinetycznej (5, 6, 17). Przy podnoszeniu kopyta przetworzenie energii potencjalnej na energię kinetyczną mięśnia dwugłowego ramienia powoduje zgięcie stawu łokciowego. Mięśnie: zębata dobrzuszy szyi i klatki pierśowej dodatkowo wspomagają wysunięcie łopatki. Z doświadczeń klinicznych wynika, że konie z lekkim porażeniem nerwu promieniowego, który unerwia mięśnie prostowniki stawów: łokciowego, nadgarstka i palców, są zdolne do ruchu i używają wówczas wydajności biernego wahadła w ruchu kończyny pierśowej. Natomiast konie z zerwanym ścięgnem mięśnia prostownika promieniowego nadgarstka potykają się w klusie, gdyż nie są zdolne do wysunięcia kończyny (5, 6).

Graficzny zapis ruchu kończyny miednicznej zaprezentowano na ryc. 2. Maksymalne prostowanie stawu biodrowego następuje przy końcu fazy obciążania,



Ryc. 2. Graficzny zapis prawidłowego ruchu kończyny miednicznej konia w klusie – wg Backa et al. (6)
Objaśnienia: a-h – kolejne fazy kroku

a maksymalne zgięcie – na końcu wymachu – 90,4% cctk. Przy zapoczątkowaniu kontaktu z podłożem staw kolanowy gwałtownie się zgina, odpowiednio do obciążenia i zasięgu, maksymalnie przy 9,6% cctk. Na końcu fazy obciążania – 36,4% cctk – staw ten jest całkowicie zgięty. Staw stępu jest gwałtownie zginany na początku fazy obciążania – 9,6% cctk, a po zakończeniu tej fazy jest maksymalnie wyprostowany – 39,4% cctk. Maksymalne zgięcie tego stawu następuje w pobliżu środka fazy wymachu – 73,2% cctk. Staw śródstopowo-członowy (pęcynowy) tuż po zapoczątkowaniu kontaktu z gruntem prostuje się, osiągając swoje maksymalne wyprostowanie w środku tej fazy przy 23,7% cctk. Po oderwaniu kończyny od podłoża następuje pierwszy szczyt zgięcia – 53,9% cctk. Następnie wspomniany staw lekko się prostuje – 68,1% cctk, po czym następuje drugi szczyt zgięcia – 75,8% cctk. Na końcu fazy wymachu staw ulega zdecydowanemu wyprostowaniu i zostaje uzyskany kontakt z podłożem (5, 6).

Gwałtowne obciążenie kończyny miednicznej, przy zapoczątkowaniu jej kontaktu z podłożem, powoduje prostowanie stawu pęcynowego, a zgięcie kopytowego. Zgięcie stawu stępu następuje gwałtownie i jest ściśle zsynchronizowane ze zgięciem stawu kolanowego (ryc. 2, faza a). Przy pionowym ustawieniu śródstopia staw kopytowy jest maksymalnie zgięty (ryc. 2, faza b). Cofanie kończyny prowadzi do maksymalnego wyprostowania stawu pęcynowego w środku fazy obciążania (ryc. 2, faza c). Na końcu tej fazy staw biodrowy oraz staw stępu są w największym stopniu wyprostowane. Stwierdzono całkowitą synchronizację maksymalnych wyprostowań stawów kolanowego i stępu na końcu fazy obciążania. Uniesienie palca (ryc. 2, faza e) i gwałtowne zgięcie stawu pęcynowego na początku fazy wymachu (ryc. 2, faza f) następują także synchronicznie. Z kolei stawy kolanowy (ryc. 2, faza g) i stępu (ryc. 2, faza h) wykazują zsynchronizowane zgięcie. Ścisła koordynacja zginania w tych stawach została stwierdzona także w fazie wykroku przy podnoszeniu obwodowej części kończyny podczas stępu. Mechanizm synchronizacji

stawu pęcynowego ze stawami kolanowym i stępu tłumaczono pracą ścięga mięśnia zginacza powierzchownego palców (15). Błąd powodowany przesunięciami markerów skórnych poniżej stawu stępu, podobnie jak w kończynie piersiowej poniżej nadgarstka, jest minimalny i ma niewielki wpływ na wyniki badań kinematycznych (5, 6).

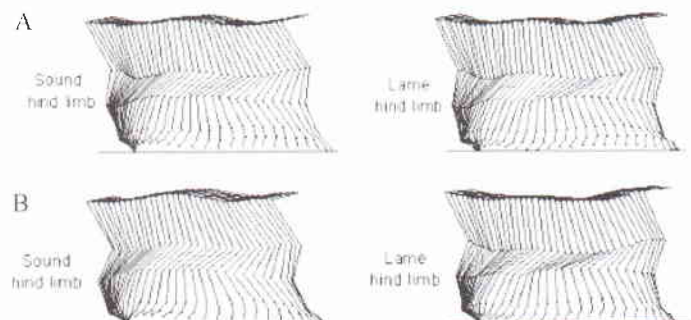
Ruch kończyny miednicznej konia w klusie także porównywano do ruchu wahadła z punktem rotacyjnym w panewce. Faza wymachu kończyny miednicznej jest skutkiem uwolnienia energii potencjalnej ścięgien w postaci energii kinetycznej (5, 6, 17). Na początku tej fazy zgięcie stawu pęcynowego jest aktywnie wspierane przez ścięgna mięśni zginaczy głębokich palców, podczas gdy mięsień prostownik długi palców zgina staw stępu, a mięsień brzuchaty łydki zgina staw kolanowy (17).

Mięśnie zginacze głębokie palców, mięsień zginacz powierzchowny palców oraz mięsień prostownik długi palców są strukturami mającymi wpływ na więcej niż jeden staw. Największej sile skurczu mięśni zginaczy głębokich palców towarzyszy minimalny kąt w stawie stępu oraz maksymalny kąt w stawach: pęcynowym i kopytowym. Mięsień prostownik długi palców oraz zginacz powierzchowny palców działają na staw kolanowy w ten sposób, że drugi jest generatorem tworzącym siłę, niezbędną do stabilizacji kończyny, a pierwszy odpowiada za przemieszczanie (26). Oprócz synchronicznej pracy stawów kolanowego i stępu, badania wykazały sprzężenie pomiędzy zginaniem i prostowaniem stawów stępu i pęcynowym w fazie wymachu (5, 6, 26).

Przykłady wykorzystania znajomości kinematyki kończyny

Analiza biomechaniki ruchu konia w klusie może być wykorzystana do oceny prawidłowości pracy poszczególnych struktur kończyny. W zależności od uszkodzonej struktury zmienia się bowiem odpowiednio graficzny zapis ruchu. Przykład stanowi zapis graficzny ruchu konia, u którego kulawizna kończyny miednicznej spowodowana była uszkodzeniem mięśni międzykostnych. Kulawizna spotęgowana została „testem zginania” (ryc. 3).

Przy kulawiznie kończyn miednicznych istotnym wskaźnikiem jest przemieszczanie guza biodrowego, a przy ocenie kończyn piersiowych niezwykle przydatne



Ryc. 3. Graficzny zapis ruchu kończyny miednicznej przy kulawiznie spowodowanej uszkodzeniem mięśni międzykostnych – wg Degueurce et al. (13), przed „testem zginania” (A) i po tym teście (B)

w diagnostyce ich kulawizn są: pionowa pozycja głowy i zanikający związek jej ruchu z położeniem kopyta (10).

W niektórych badaniach oceniano kulawiznę, która w eksperymencie spowodowana była wewnątrzstawową iniekcją endotoksyny bakteryjnej podanej do stawu przedramiennie-nadgarstkowego u koni rasy pony. Kulawizna została zanotowana przez doświadczonego klinicystę, a jednocześnie była zarejestrowana przy użyciu aparatu CODA-3 (zestaw wizyjno-komputerowy do rejestrowania i przetwarzania ruchu konia na postać graficzną). Otrzymane kinematyczne parametry chodów były wysoce skorelowane z oceną tego klinicysty oraz stanowiły dodatkowo obiektywną, zarejestrowaną ocenę zaburzeń lokomocji (4).

Wykazano także, że aktywność mięśnia prostownika promieniowego nadgarstka jest skoncentrowana na początku fazy wymachu. Zgina on staw łokciowy oraz stabilizuje staw nadgarstka. Dzięki temu wiadomo, że konie z przerwaniem ścięgna mięśnia prostownika promieniowego nadgarstka wykazują podczas stępu nadmierne zgięcie tego stawu w fazie wymachu, które można odczytać z wykresu (5, 6, 17).

Stwierdzono także, że ruch grzbietu i kończyn konia, są zależne od prędkości kłusa. Badano konie, które poruszały się na poziomej bieżni diagnostycznej z różną prędkością. Na lewej stronie ciała zwierząt oraz na linii pośrodkowej grzbietu umieszczone były markery skórne. Jednocześnie, dzięki użyciu powierzchniowych elektrod, rejestrowano elektryczną aktywność sześciu mięśni. Analiza obejmowała sposób poruszania się zwierząt zależnie od pięciu prędkości zawartych w przedziale 3,5-6,0 m/s. Wzrost prędkości powodował skrócenie fazy obciążania, wzrastała aktywność mięśni i zasięg ruchu kończyn, ale zmniejszał się ruch grzbietu. Podczas fazy obciążania kończyny były bardziej obciążone, co miało swoje odbicie w większym zgięciu stawów oraz wyższej aktywności niektórych mięśni (27).

Znajomość kinematyki kończyn może zostać wykorzystana również do rehabilitacji, treningu lub monitorowania ruchu konia zależnie od uszkodzenia (9). Określono wpływ ustawienia głowy i szyi zwierzęcia w trakcie ruchu na pracę poszczególnych zespołów mięśni. U badanych koni utrzymywano stałe położenie głowy i szyi w trzech różnych pozycjach (trzy sposoby ułożenia cugli), a właściwości chodów mierzono dzięki specjalnemu systemowi analizy kroku. Wszystkie pozycje głowy i szyi znacznie modyfikują stęp i kłus ($p < 0,05$). Na przykład podniesienie głowy powodowało zwiększenie zakresu unoszenia kończyny piersiowej w obu rodzajach ruchu ($p < 0,05$). Zwiększała się wówczas także aktywność kończyny miednicznej. Można więc modyfikować aktywność kończyn konia w zależności od odpowiedniego ustawienia jego głowy i szyi (9).

Pomimo określenia w sposób wymierny niektórych parametrów ruchu, nadal pozostaje wiele niewiadomych. Prowadzone na szeroką skalę badania wciąż nie dają odpowiedzi na szereg pytań z dziedziny ortopedii koni. Dlatego poruszona problematyka zasługuje na dalsze wnikliwe badania, które z pewnością przyniosą wiele nowych informacji.

Piśmiennictwo

- Alexander R., Trestic C. L.: Bistable properties of the hock joint of horses (Equus spp.). J. Zool. 1989, 218, 383-391.
- Audigie F., Pourcelot P., Degueurce C., Geiger D., Denoix J. M.: Symmetry of limb movements in lame trotting horses. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 70.
- Back W., Bogert A. J., Weeren P. R., Bruin G., Barneveld A.: Quantification of the locomotion of Dutch warmblood foals. Acta Anat. 1993, 146, 141-147.
- Back W., Barneveld A., Bogert A. J.: Kinematic gait analysis in equine carpal lameness. Acta Anat. 1993, 146, 86-89.
- Back W., Schamhardt H. C., Savelberg H. H. C. M., Bogert A. J., Bruin G., Hartman W., Barneveld A.: How the horse moves: 1. Significance of graphical representations of equine forelimb kinematics. Equine Vet. J. 1995, 27, 31-38.
- Back W., Schamhardt H. C., Savelberg H. H. C. M., Bogert A. J., Bruin G., Hartman W., Barneveld A.: How the horse moves: 2. Significance of graphical representations of equine hind limb kinematics. Equine Vet. J. 1995, 27, 39-45.
- Back W., Schamhardt H. C., Hartman W., Bruin G., Barneveld A.: Predictive value of foal kinematics for the locomotor performance of adult horses. Res. Vet. Sci. 1995, 59, 64.
- Biau S., Beauregard S., Galloux P., Auvinet B., Barrey E.: Kinetics gait transitions in dressage horses using wavelet analysis. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 40.
- Biau S., Couve O., Lemaire S., Barrey E.: The effect of reinson kinetic variables of locomotion. Equine Vet. J. Suppl. 2002, 34, 359-362.
- Caron J. P.: Current Techniques in Equine Surgery and Lameness. W. B. Saunders Company, Philadelphia 1998, s. 501.
- Clayton H. M., Lanovaz J. L., Singleton W., Prades M.: Sagittal plane motion of the pastern joint during trotting. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 15.
- Degueurce C., Chateau H., Pasqui-Boutard V., Geiger D., Denoix J. M.: Kinematics of the proximal interphalangeal joint in the horse. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 43.
- Degueurce C., Dietrich G., Pourcelot P., Denoix J. M., Geiger D.: Three-dimensional kinematic technique for evaluation of horse locomotion in outdoor conditions. Med. Biol. Eng. Comput. 2001, 34, 249-252.
- Galisteo A. M., Miro F., Monterde J. G., Diz A., Martin J., Cano M. R.: Changes due to age in trotting andalusian foals biokinematics. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 29.
- Hodson E., Clayton H. M., Lanovaz J. L.: The hindlimb in walking horses: 1. Kinematics and ground reaction forces. Equine Vet. J. 2001, 33, 38-43.
- Holmstrom M., Fredricson I., Drevemo S.: Biokinematic effects of collection on the trotting gaits in the elite dressage horse. Equine Vet. J. 1995, 27, 281.
- Jansen M. O., Raaij J. A. G. M., Bogert A. J., Schamhardt H. C., Hartman W.: Quantitative analysis of computer averaged electromyographic profiles of intrinsic limb muscles in ponies at the walk. Am. J. Vet. Res. 1992, 53, 2343-2349.
- Kai M., Takahashi T., Eto D., Had T., Mori T., Aoki O.: Kinetic analysis of the equine lead change. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 39.
- Keegan K. G.: Cinematography. Current Techniques in Equine Surgery and Lameness. W. B. Saunders Company, Philadelphia 1998, s. 39.
- Keegan K. G., Wilson D. A., Smith B. K., Wilson D. J.: Changes in kinematic variables seen with lameness induced by applying pressure to the frog and to the toe in adult horses trotting on a treadmill. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 66.
- Kramer K., Keegan K. G., Wilson A., Smith B. K., Wilson D. J.: Kinematics of the equine hindlimb in trotting horses after induced distal tarsal lameness and distal tarsal anesthesia. Proc. Fourth Internat. Workshop Animal Locomotion, Vienna 2000, s. 65.
- Leach D. H.: Recommended terminology for researches in locomotion in biomechanics of quadrupedal animals. Acta Anatomica 1993, 146, 130-136.
- Leach D. H.: Noninvasive technology for assessment of equine locomotion. Comp. Cont. Educ. Pract. Vet. 1987, 9, 1124-1134.
- Maierl J., Botther P., Hecht S., Liebich H.-G.: Biomechanical aspects of the joints of the foot in horse. Proc. XXIVth Congress European Association of Veterinary Anatomists, Brno 2002, s. 71.
- Pinsent P. J. N., Fuller C. J.: Zarys diagnostyki klinicznej koni. SIMA WLW, Warszawa 1999, 103-108.
- Riemersma D. J., Bogert A. J., Schamhardt H. C., Hartman W.: Kinetics and kinematics of the equine hind limb: In vivo tendon strain and joint kinematics. Am. J. Vet. Res. 1988, 49, 1353-1359.
- Robert C., Valette J. P., Pourcelot P., Audigie F., Denoix J. M.: Effects of trotting speed on muscle activity and kinematics in saddlehorses. Equine Vet. J. Suppl. 2002, 34, 295-301.
- Siriporn K., Clayton H. M., Lanovaz J. L.: Effect of walking velocity on ground reaction force variables in the hind limb of clinically normal horses. Am. J. Vet. Res. 2001, 62, 901-906.
- Stanek C., Girter D., Peham C.: Możliwości wykorzystania bieżni do badań diagnostycznych. Mat. IX Międzynarodowego Kongresu Pro Animali Et Homine – Współczesne problemy w patologii koni, Wrocław 2002, s. 7-8.
- Szeligowski E.: Weterynaryjna diagnostyka chirurgiczna Kulczyckiego. PWRiL, Warszawa 1993, 156-159.
- Walter K.: Der Bewegungsablauf an den freien Gliedmassen des Pferdes im Schritt, Trab und Galopp. Arch. Wiss. Prakt. Tierheilk. 1925, 53, 316-352.

Adres autora: dr Małgorzata Dzierżęcka, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa; e-mail: malgorzatadzierzecka@wp.pl