

# Kinematyczna ocena ruchu konia

PIOTR JÓŹWIAK, BARTŁOMIEJ M. JAŚKOWSKI\*\*, ALICJA JÓŹWIAK\*\*,  
WOJCIECH KOSEK\*, PAWEŁ KNAPKIEWICZ\*, JĘDRZEJ M. JAŚKOWSKI\*\*

Sucholeski Gabinet Weterynaryjny „Na Strażackiej”, ul. Strażacka 24, 62-002 Suchy Las

\*Zakład Mikroinżynierii i Fotowoltaiki, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wrocławska,  
ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław

\*\*Instytut Weterynarii, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,  
ul. Wołyńska 35, 60-637 Poznań

Jóźwiak P., Jaśkowski B. M., Jóźwiak A., Kosek W., Knapkiewicz P., Jaśkowski J. M.

## Kinematic analysis of the horse's movement

### Summary

An objective analysis of the horse's movement is used to evaluate the usefulness of the horse for practical purposes and serves as a prognostic tool for predicting the horse's sports performance, functional development, and potential pathological conditions.

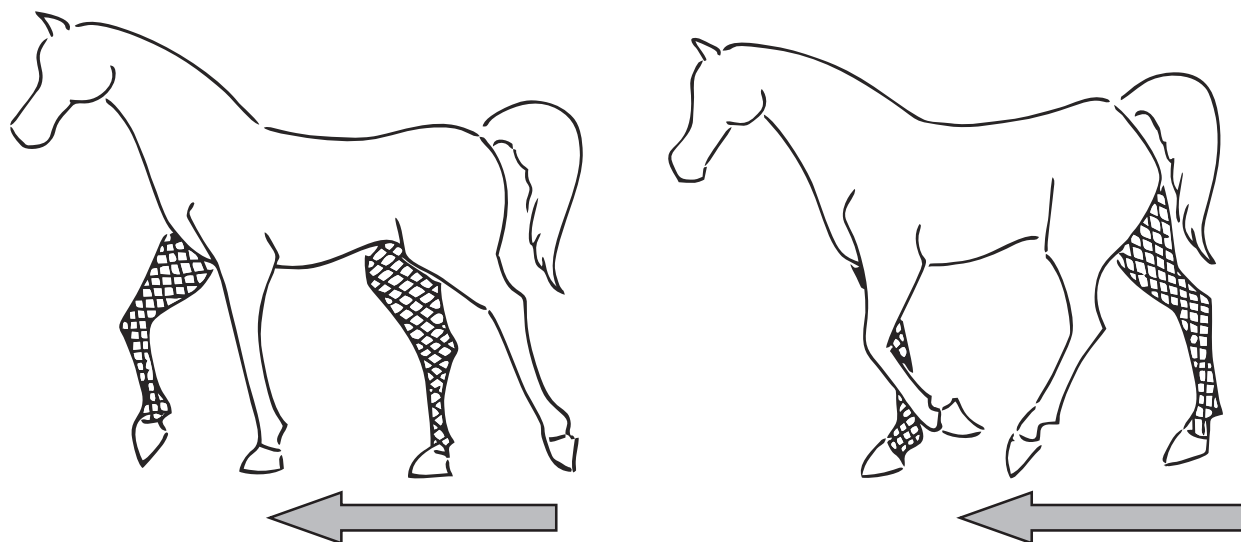
Based on a literature review, this paper presents current biomechanical principles of the translational and rotational movements of the horse's body parts as the grounds for a kinematic analysis of the horse's movement. The kinematic analysis involves the evaluation of time-space, linear, and angular parameters (linear and angular kinematic). The symmetric, regular, temporal, and repeatable translocation of the horse's body parts is ensured by the synchronization of internal forces generated by muscles and gravity, acting by levers of the horse's skeleton, which cause rotational movements around the centers of joint rotation. The principle of a torque equilibrium has become the basis for establishing the physiological normal values in movement evaluation methods.

The article presents all currently known methods of kinematic evaluation of the horse's movement along with their critical interpretation. The authors describe their own assumptions for the construction of behavioral screening equipment for the analysis of the horse's movement and vital activity measurements.

**Keywords:** horse's movement, biomechanics, movement symmetry, inertial sensors, kinematics, gait analysis, accelerometer, treadmill

Jednym z istotnych elementów decydujących o sukcesie konia sportowego na torze wyścigowym jest długość kroku kończyn piersiowych oraz stopień wyciągnięcia głowy. Im bardziej wysunięta głowa podczas galopu oraz im bardziej do przodu wysunięte kończyny piersiowe, tym z reguły lepsze są osiągnięcia na torze. W warunkach standardowych selekcja koni sportowych odbywa się dopiero w trakcie wyścigu (na torze). Na podstawie ich wcześniejszego zachowania oraz zachowania podczas treningu selekcja tzw. „dobrych koni” wyścigowych jest mało realna. Stosunkowo trudno także przewidzieć dzielność młodego wierzchowca na torze wyłącznie w oparciu o wcześniejszą analizę rodowodu zwierzęcia. Szereg kontuzji i wad aparatu ruchu o różnej genezie, w konsekwencji prowadzących do eliminacji konia sportowego, może mieć charakter podkliniczny, niewykrywalny przy użyciu metod klasycznych. Metody te obejmują m.in.: ocenę budowy, badanie rentgenowskie, ultrasonograficzne oraz badania uzupełniające. W pierwszym z nich oceniane są: ogólna budowa i kondycja konia, stan kopyt, ich ukątownie i symetria, konformacja kończyn z przodu, tyłu

i boku oraz linia grzbietu (9). Badanie rentgenowskie obejmuje zwykle jedną do trzech projekcji trzyczek kopytowych, stawu skokowego, palca wszystkich kończyn, a u koni sportowych dodatkowo projekcje nadgarstka. U koni arabskich natomiast obowiązuje ocena radiologiczna stawu kolanowego. Badanie ultrasonograficzne ścięgien przeprowadza się praktycznie wyłącznie u koni wyścigowych. ([www.zdrowiekonia.pl/porady/Badanie\\_konia\\_przed\\_zakupem\\_Centr\\_Badanie\\_konia\\_przed\\_zakupem\\_Kalisiak\\_O\\_](http://www.zdrowiekonia.pl/porady/Badanie_konia_przed_zakupem_Centr_Badanie_konia_przed_zakupem_Kalisiak_O_)). Jak wynika z nielicznych badań, diagnostyka chorób trzyczek kopytowych wyłącznie w oparciu o badanie rentgenowskie jest obciążona dużym błędem i nie może być podstawą jednoznacznej, miarodajnej diagnozy. Wydaje się, że wady te, niewidoczne gołym okiem, mogą manifestować się subtelnymi różnicami w symetrii ruchu kończyn oraz ich nacisku na podłoże. Na podobne problemy napotyka się podczas oceny niewielkiego stopnia kulawizn, których wykrycie przy pomocy tradycyjnych metod diagnostycznych jest trudne. Analizy biomechaniczne są rutynowo stosowane jako kliniczne sposoby diagnostyczne u człowieka

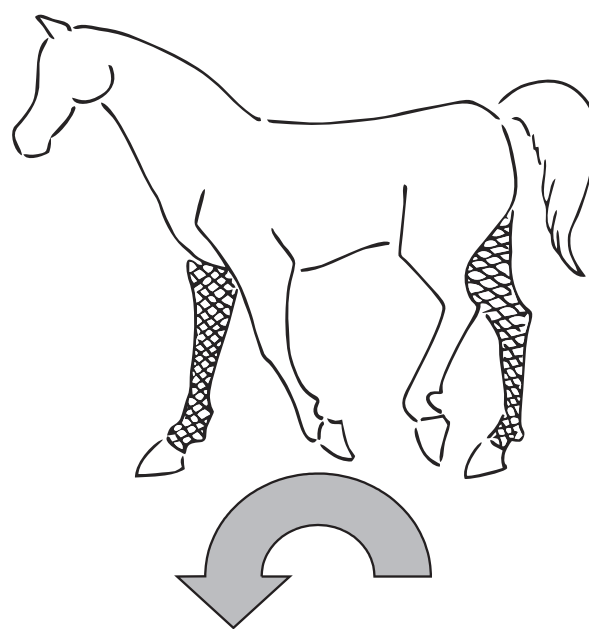


Ryc. 1, 2. Ruch translacyjny lewej kończyny miednicznej

oraz w medycynie weterynaryjnej. W tym ostatnim przypadku ich zastosowanie miało jak dotychczas znaczenie w ocenie ruchu konia prowadzonej w celu lepszego jego zrozumienia oraz wizualizacji faz i cykliczności przemieszczania ciała zwierzęcia (12).

Istnieje zatem uzasadniona potrzeba opracowania metodologii oraz systemu pomiarowego zdolnego do oceny ruchu konia i jednoznacznej klasyfikacji predyspozycji zwierzęcia pod kątem jego przydatności do biegu na torze lub innych dyscyplin sportowych.

Z biomechanicznego punktu widzenia ruch ciała konia w przestrzeni jest interpretowany jako ruch kończyn, głowy, szyi i zadu. Opisane w piśmiennictwie metody oceny ruchu konia precyzyjnie obrazują biomechanikę zachowań poszczególnych części ciała konia, szczególnie kończyn tylnych, będących dominującym elementem napędowym oraz przednich w przeważającym stopniu pełniących funkcję podporową. Analiza ruchu wymienionych wyżej części ciała dotyczy ich translacji i rotacji. Translacja stanowi równoległe przeniesienie wszystkich części ciała w przestrzeni względem podłoża z zachowaniem tożsamości odległości, kierunku i czasu. Rotacja natomiast oznacza przemieszczenie elementów ciała z zachowaniem tożsamości wartości kątowej ruchu w tym samym kierunku i czasie. Przykładem translacji jest przeniesienie lewej kończyny miednicznej w dwóch następujących po sobie fazach podparcia kopyta o podłoże (ryc. 1, ryc. 2). Podczas ruchu translacyjnego uniesiona kończyna dokonuje jednak również ruchu rotacyjnego (ryc. 3). Rotacja dominuje w ruchu konia. Jej interpretacja jest możliwa po zrozumieniu zasad dynamiki dźwigni. Ruch konia, siły go powodujące oraz stabilizacja kończyn w poszczególnych fazach chodu są warunkowane stanem równowagi momentów sił generowanych wokół stawów poprzez siły mięśniowe i grawitacji. Podstawowymi warunkami funkcjonowania tego układu są stabilne punkty obrotu dźwigni (stawy bądź podparcie o podłoże), sztywne dźwignie – kości bądź ich grupy funkcjonalne (np. kość



Ryc. 3. Ruch rotacyjny lewej kończyny miednicznej

udowa, kości nadgarstka, śródstopia) o odpowiedniej długości oraz adekwatne siły generowane przez mięśnie, elastyczność tkanek oraz grawitację gwarantujące zachowanie momentów sił.

Zgodnie z zasadami analizy biomechanicznej, ocena ruchu konia odbywa się w oparciu o: badanie kinematyczne, tzn. zachowanie się poszczególnych części ciała konia w przestrzeni, kinetyczne, tzn. obserwację sił reakcji podłoża w momencie obciążania kończyny i ich rozkładu w poszczególnych odcinkach kończyn oraz analizę dynamiczną aktywności mięśniowej. W ramach analizy kinematycznej wyróżnia się ocenę parametrów czasowo-przestrzennych, liniowych oraz kątowych (kinematyka liniowa i kątowa). Podobnie ocena kinetyczna dotyczy rozkładu sił działających liniowo oraz powodujących ruchy rotacyjne. Wypadkową zgodności funkcjonowania poszczególnych elementów ruchu konia jest balans i równowaga

podczas stania i ruchu oraz możliwość dostosowania zapotrzebowania energetycznego ruchu.

Potrzeby kliniczne skłaniają jednak do poszukiwań nowych, precyzyjnych, powtarzalnych i obiektywnych metod oceny ruchu konia w jego naturalnym środowisku. Dopiero taka przesiewowa analiza porównawcza zachowań behawioralnych koni w stadzie pozwala na przeprowadzenie selekcji najlepszych osobników do poszczególnych zastosowań, w tym również sportowych. Skłoniło nas to do dokonania przeglądu literatury w celu określenia aktualnego stanu wiedzy dotyczącej badania ruchu koni.

Przedstawione poniżej wielokierunkowe badania analizujące ruch konia pozwalają na jego wieloaspektową charakterystykę biomechaniczną. Dokonany przegląd metod badawczych ma na celu poszukiwanie najważniejszych dla przeprowadzenia oceny screeningowej pozwalającej na szybką, czułą i powtarzalną analizę zachowań ruchowych konia, świadczących o jego aktywności behawioralnej, możliwych do zastosowania nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale również w naturalnym środowisku życia zwierzęcia.

Ocena kinematyczna. Do najczęściej wykorzystywanych metod pomiaru ruchu w przestrzeni należą: czujniki inercyjne, żyroskopy, akcelerometry, magnetometry, kamery podczerwone umożliwiające zapis 3D oraz kamery optyczne służące do analiz 2D (motioncapture) przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych na nieruchomych chodnikach lub bieżniach z napędem. Sensory inercyjne mają zastosowanie w układach, w których obrotowe i liniowe zmiany położenia mierzone są bez odniesienia do zewnętrznych współrzędnych. Pomiar tych wartości odbywa się przy użyciu żyroskopów i akcelerometrów (przyspieszeniometry). Systemy inercyjne (IMU – Inertial Measurement Unit) wykorzystywane są głównie w nawigacji lotniczej i morskiej oraz motoryzacji. W ostatnich latach rosnące zainteresowanie systemami inercyjnymi spowodowało pojawienie się wielu nowych układów, zarówno wyspecjalizowanych, jak i ogólnego przeznaczenia. System IMU składa się z trzech żyroskopów, trzech akcelerometrów i trzech magnetometrów. Aktualnie rozwój miniaturowych mechaniczno-elektronicznych podzespołów i czujników – technologii MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems), pozwala wytwarzać wcześniej wymienione czujniki w postaci małych układów scalonych. Doskonałe parametry, miniaturowe wymiary oraz mały pobór mocy elektrycznej sprawiają, że czujniki te znajdują szereg zastosowań, od wspomnianej wcześniej nautyki, w tym hobbistycznej budowy małych obiektów latających, po sprzęt elektroniczny (np. telefony komórkowe wykrywające obrót telefonu) oraz motoryzację (system ABS, systemy kontroli trakcji) (7).

W pracy Keegana (8) do analizy ruchu oraz rozpoznawania kulawizny u koni wykorzystano żyroskopy, akcelerometry i magnetometry. Kulawizny diagnozowano w oparciu o system zbierania danych złożony

z 2 akcelerometrów i 2 żyroskopów. Pionowe przyspieszenia ruchów głowy i miednicy oraz korelacje między nimi pozwoliły wykryć kulawiznę, a konfrontując te dane z wynikami zebranymi przez żyroskopy umieszczone na prawej przedniej i tylnej kończynie, możliwe było określenie, której kończyny dotyczyła kulawizna. Badanie zostało przeprowadzone zarówno na bieżni, jak i na naturalnym podłożu. W obu przypadkach wyniki były satysfakcjonujące. W innych badaniach wykorzystywano czujniki inercyjne montowane na prawym i lewym guzie biodrowym do wykrywania kulawizny kończyn miedniczych. Zastosowanie niniejszych urządzeń pozwoliło na wykrycie wszystkich kulejących zwierząt oraz bezbłędnie wskazało, której kończyny kulawizna dotyczy. Czułość metody była zadowalająca i wyniosła 89% natomiast swoistość i specyficzność 79% (13). Podobne badania, których dodatkowym celem było ustalenie stopnia zaawansowania kulawizny, przeprowadzono w oparciu o ocenę symetrii wychyleń pionowych z wykorzystaniem czterech czujników inercyjnych zamontowanych na guzach biodrowych, guzie krzyżowym i kłębie. Badania przeprowadzono na grupie 15 koni (3). Oceny biomechaniki ruchu konia dokonano także w oparciu o orientacyjny inercyjny system zbierania danych. System ten łączy ze sobą możliwości żyroskopu, akcelerometru i magnetometru. Czujniki zostały umieszczone na grzbiecie konia, a ruch odbywał się na bieżni (14).

Podczas oceny kulawizny u koni pomocnym wskaźnikiem kinematycznym jest stosunek symetrii przemieszczenia prawej i lewej kończyny, służący do ilościowego oznaczenia symetrii chodu (17). Proponowane są różne metody pomiarów. W tym celu znajdują również zastosowanie czujniki inercyjne rejestrujące ruch w czasie chodu konia w klusie po linii prostej i po okręgu. Pierwsza metoda polegała na porównaniu amplitudy przemieszczenia kąтового guzów biodrowych w stosunku do kości krzyżowej, w drugiej wykorzystano analizę Fouriera (Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768-1830) przemieszczeń liniowych, a w trzeciej amplitudę przemieszczenia prawego i lewego guza biodrowego względem siebie. Czujniki inercyjne zostały przymocowane w odcinku krzyżowym kręgosłupa, w okolicy lewego i prawego guza biodrowego u 21 koni, u których nie zaobserwowano kulawizny. Zebrane zostały dane dotyczące ruchu w klusie w linii prostej i po okręgu. Wykładniki symetrii oparte o ruchy pionowe zostały obliczone dla każdego kroku z zastosowaniem 3 poprzednio opublikowanych metod. Wyniki badania były w różnym stopniu zmienne, ale nie różniły się znacząco w poszczególnych metodach. Również nie zanotowano znaczących różnic między badaniem całościowym a poszczególnymi etapami obliczeń, jednakże różnice wynikające ze stosowania poszczególnych metod, a tym samym także różnice w trafności i precyzji wyników sprawiają, że interpretacja oraz bezpośrednie zestawienie różnych wykładników symetrii powinny

być stosowane z ostrożnością i rezerwą (17). Zaleca się stosowanie oceny wieloczynnikowej ruchu w celu precyzyjnego określenia jego symetrii.

W innym doświadczeniu przeprowadzano badania akcelerometryczne parametrów chodu konia poddane go działaniu ksylazyny. Eksperyment przeprowadzono na sześciu koniach. Obejmował on pomiary prędkości, częstotliwości, długości kroku, jego regularności i przyspieszenia oraz analizę sił działających podczas ruchu. Dowiedziono, że prędkość, częstotliwość oraz siła i regularność czasowo zmniejszały się po podaniu ksylazyny. Nie zmieniła się natomiast długość kroku. Dane te zostały zebrane przy użyciu pomiarów akcelerometrycznych, co wskazuje, że jest to metoda praktyczna, dokładna i może być stosowana do obiektywnej oceny zmienności chodu u koni (10). W kolejnej pracy opisano wpływ prędkości oraz wysokości kłębu na biomechaniczne parametry ruchu – liniowe, kątowe oraz czasowe. Udowodniono, że zarówno prędkość, jak i wysokość wykazują ścisłą korelację z parametrami liniowymi, natomiast nie wykazują żadnej korelacji z parametrami czasowymi (6).

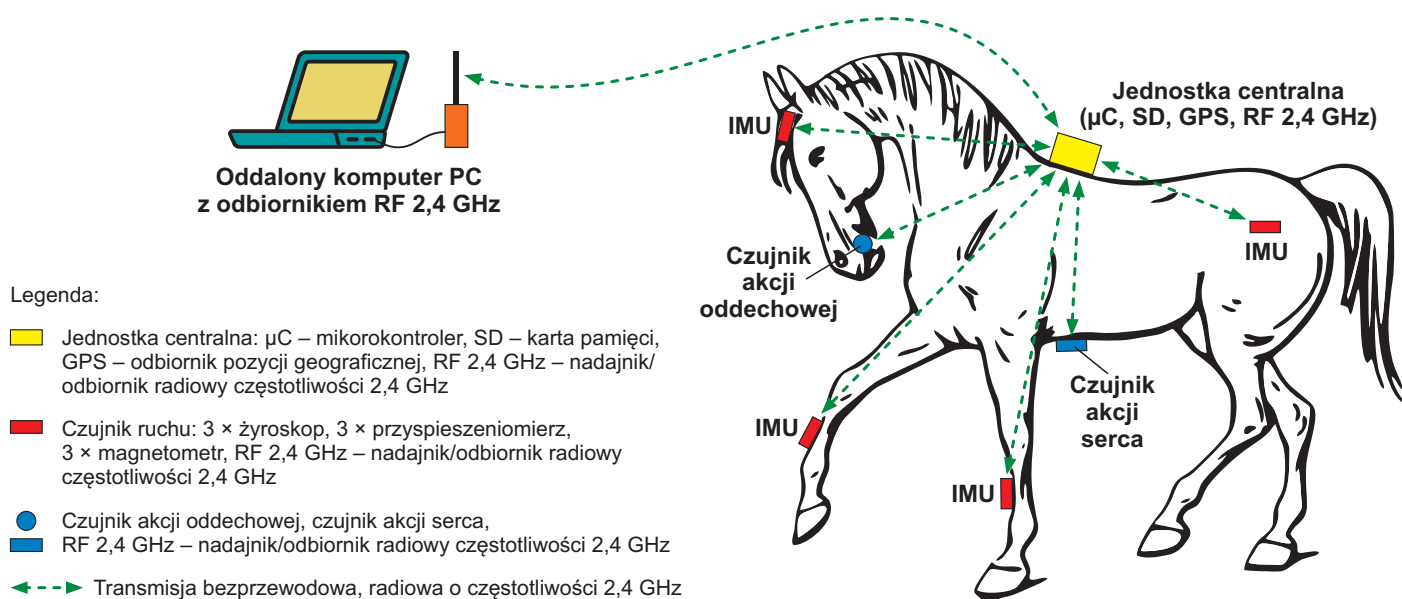
Komputerowa ocena chodu koni oparta na ocenie 3D (kamery podczerwieni) lub 2D (kamery optyczne) przeprowadzana jest w warunkach specjalnie przystosowanych laboratoriów biomechanicznych. Posiadają one kilkumetrowe chodniki bądź ruchome bieżnie objęte polem zbierania danych przez system kamer umieszczonych na obrzeżach płaszczyzny badanej. Na powierzchni ciała konia rozmieszczone są markery emitujące bądź odbijające promieniowanie podczerwone. Kamery rejestrują zmiany położenia ww. markerów, umieszczonych w standardowych pozycjach, najczęściej w osiach stawów kończyn oraz na tułowiu. Zebrane dane podlegają dalszej obróbce komputerowej w celu dokonania analizy danych bezpośrednich oraz animacji obserwowanego ruchu. Badanie to obciążone jest problemem nienaturalności ruchu, tzw. ruchem laboratoryjnym. Ograniczona jest również liczba zwierząt mogących zostać poddanych badaniom. Mankamentem powierzchni kalibrowanej systemu motioncapture 3D jest znaczna długość kroku konia i ograniczony zasięg powierzchni kalibrowanej oraz/lub ograniczony rozmiar standardowej platformy siłowej. Oznacza to, że większość zaawansowanych laboratoriów chodu pozwala na zarejestrowanie od trzech do czterech kolejnych kroków podczas stępu lub kłusa. Zastosowanie bieżni pozwala zwiększyć liczbę kolejnych, zarejestrowanych kroków (19, 20). Pozostaje jednak faktem, że właściwości powierzchni pasów bieżni różnią się zasadniczo od powierzchni naturalnych, po których porusza się koń. Przypuszcza się, nie bez powodu, że sztuczne bieżnie zmieniają parametry podczas chodu, wpływając na zaniżenie częstotliwości kroku, zawyżenie długości kroku, zawyżenie czasu fazy stacjonarnej (pozycji) oraz ograniczenie wertykalnej ruchomości kopyta (1, 2). Dowodem zmienności tzw. ruchu laboratoryjnego

ocenianego w warunkach pracowni biomechanicznej są badania opublikowane w 2007 r. przedstawiające porównanie parametrów chodu konia poruszającego się po gumowej bieżni i po asfalcie z zastosowaniem metody analizy ruchu CODA-3. Metoda ta opiera się na wykorzystaniu markerów czynnych, czyli takich, które same emitują światło, informując o swoim położeniu i określających swoją anatomiczną identyfikację. Markery śledzone za pomocą kamer pozwalają uzyskać graficzne odwzorowanie ruchu w płaszczyźnie strzałkowej, czołowej i poprzecznej. Wykazano znaczne różnice pomiędzy warunkami laboratoryjnymi (bieżnia) oraz naturalnymi (asfalt). W pierwszym przypadku skrócona została faza podparcia, natomiast w drugim faza przeniesienia kończyny przy jednoczesnym zmniejszeniu ruchów pionowych miednicy. Warunki, w których przeprowadzane jest badanie mają, zdaniem autorów, istotny wpływ na wzorzec ruchu konia, dlatego też wymagana jest daleko posunięta ostrożność podczas prób praktycznego zastosowania w naturalnym środowisku technik wcześniej wykonywanych na bieżni (2). Podobne wnioski wynikają z badań, w których porównano długość i częstotliwość kroków na bieżni i na torze jeździeckim. Udowodniono, że zarówno długość kroku, jak i jego częstość ulegają istotnej zmianie w zależności od warunków, w jakich przeprowadzono badanie (1).

W celu udowodnienia skuteczności badania ruchu za pomocą czujników inercyjnych wiele zespołów badawczych konfrontuje tę metodę z oceną optyczną rejestrowaną za pomocą kamer. Sześć zdrowych koni przebadano wykorzystując czujniki inercyjne oraz system MOCAP (Motion Capture System). Markery umiejscowiono wzdłuż linii kręgosłupa (T6, T10, T13, L1 i S3). Przy porównaniu brano pod uwagę symetrię wychyleń pionowych ocenianą za pomocą współczynnika zużycia energii obliczonym w oparciu o analizę Fouriera. Uzyskane wyniki okazały się satysfakcjonujące i po poprawieniu czułości urządzenia możliwe do zastosowania w praktyce klinicznej (18).

Ostatnio opublikowano badania mające na celu porównanie 2 metod analizy ruchu konia – czujników inercyjnych IMU (Inertial Measurement Unit) oraz systemu kamer 3D. Przy porównaniu brano pod uwagę pozycję linearną i kątową, prędkość oraz przyspieszenie, jednakże przez nieprecyzyjność metody oraz brak obliczania fazy podporu IMU okazała się klinicznie nieprzydatna (11).

Badania 2D na ruchomej bieżni wymagają zastosowania jedynie dwóch kamer video o częstotliwości filmowania  $f = 50$  Hz, śledzących jeden pełen cyklu ruchu konia w stępie wobec układu odniesienia. Do pozyskania danych wykorzystano techniki komputerowe, a następnie dokonano przetworzenia danych przy pomocy kinematycznej metody analizy ruchów punktów obiektu. Do analizy wybrano trzy punkty odniesienia – najniższy punkt linii grzbietu, kolec biodrowy tylny górny (prawy) oraz kolec biodrowy



Ryc. 4. System oceny ruchu zwierząt, szczególnie konia: czujniki, ich funkcje i rozmieszczenie, zasady wzajemnej komunikacji

tylny lewy. W jednym cyklu czterotaktowego chodu (stępn) wyróżnia się także cztery fazy: brak kontaktu kończyny lewej przedniej z podłożem, brak kontaktu kończyny prawej tylnej z podłożem, brak kontaktu kończyny prawej przedniej z podłożem oraz brak kontaktu kończyny lewej tylnej z podłożem (5). Badania te posłużyły m.in. do kinematycznej i statycznej analizy ruchów grzbietu konia w stępnie oraz ruchów siodła BABS (Brunel ActiveBalanceSaddle) imitującego naturalny ruch konia wykorzystywanego do terapii dzieci z porażeniem mózgowym. Siodła tego rodzaju, skonstruowane w Londynie, są metodą uzupełniającą w leczeniu dzieci z porażeniem mózgowym. Do rejestracji ruchu konia zastosowano trójwymiarową metodę filmową, obejmującą filmowanie ruchu dla uzyskania wartości przemieszczeń liniowych i kątowych ruchu (4, 5).

Do rzadszych metod oceny ruchu należą metody pomiaru oparte na analizie spektralnej załamania bądź przerwania wiązki ultradźwiękowej przez ruszający się obiekt. Stosuje się je w ocenie zachowań ruchowych dystalnych odcinków kończyn. Przedstawili to Rollot i wsp. (15), oceniając trajektorię przemieszczeń segmentów kośćca kończyn przednich konia za pomocą triady ultradźwiękowych kinematycznych wskaźników przymocowanych do kości.

Przedstawione powyżej metody oceny biomechaniki ruchu konia prezentują aktualny stopień zaawansowania badań kinematycznych służących do poznania fizjologicznego wzorca ruchu oraz diagnostyki jego patologii. Pomimo szerokiego zróżnicowania metod, zastosowania wielu technik oceny brak jest, jak dotąd, jednej, w pełni zwalidowanej ustandaryzowanej techniki, pozwalającej dokonać screeningowego badania ruchu konia. Omówione prace oparte są na badaniach małych grup zwierząt, co jest dodatkowym dowodem ich ograniczonej dostępności. Potrzeby współczesnej weterynarii stawiają lekarza przed koniecznością za-

stosowania obiektywnych, precyzyjnych metod oceny wzorca chodu konia, determinujących jego przyszłość i użyteczność. Koncentrowanie się jedynie na poznaniu zasad biomechaniki ruchu konia w warunkach laboratoryjnych jest niewystarczające. W opinii autorów najbliższymi zaspokojeniu potrzeb diagnostycznych lekarzy są metody oparte na zastosowaniu czujników inercyjnych.

Scheibke i wsp. (16) jako jedni z pierwszych zastosowali czujniki przyspieszenia i żyroskopy w postaci kołnierza pozwalającego na wielogodzinne monitorowanie zachowań konia bądź krowy w oparciu o system bezprzewodowy. Ten nieinwazyjny system zastosowany został w przypadku bydła i koni poruszających się ruchem swobodnym w warunkach zbliżonych do naturalnych. Funkcja czujnika w postaci kołnierza i płaskiego pudełka polegała na pomiarze ruchów kończyn i tułowia. Wyniki pomiarów przesyłano drogą radiową bądź zapisywano w pamięci wewnętrznej. Za pomocą czujników kołnierzowych możliwe było wykrycie podstawowych zachowań (stanie w miejscu, pasanie, spacerowanie, przeżuwanie, przyjmowanie wody oraz paszy) u krow. Czujniki zamontowane na kończynach umożliwiały wykrycie kulawizny zarówno u krow, jak i koni. Wielką zaletą bezprzewodowego systemu pomiaru ruchu z wykorzystaniem IMU jest fakt, iż może on być użyteczny do wykrywania i analizy nawet niewielkich ruchów swobodnie poruszającego się zwierzęcia przez okres kilku godzin. Ułatwia to analizę podstaw zachowania, reakcji emocjonalnych lub bodźców powodujących ucieczkę lub strach (16).

Aktualnie w Zakładzie Mikroinżynierii i Fotoniki na Wydziale Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej trwają prace zmierzające do opracowania systemu oceny ruchu zwierząt, szczególnie koni i krow, oraz pomiaru dodatkowych funkcji życiowych, jak częstotliwość

oddechu, akcja serca, potliwość. Dodatkowo system wyposażony będzie w odbiornik GPS. System składał się będzie z wielu bezprzewodowych czujników i jednostki nadrzędnej (ryc. 4). Komunikacja między czujnikami a jednostką nadrzędną przebiegać będzie drogą radiową. Zebrane i wstępnie przetworzone dane zapisywane będą w pamięci wewnętrznej oraz przesyłane również drogą radiową do oddalonego komputera klasy PC (zasięg transmisji do 1,4 km), co pozwoli na bieżącą ocenę zachowania zwierzęcia.

Ryc. 4. przedstawia system oceny ruchu zwierząt, szczególnie konia: czujniki, ich funkcje i rozmieszczenie, zasady wzajemnej komunikacji.

Czujniki ruchu złożone będą z trzech żyroskopów, trzech przyspieszeniomierzy oraz trzech magnetometrów. Sygnały ze wszystkich dziewięciu czujników poddane zostaną obróbce cyfrowej z wykorzystaniem specjalnych algorytmów filtracji danych i opisu matematycznego kinematyki ruchu.

Określono, że czujniki zamknięte będą w wodoszczelnych obudowach o wymiarach zewnętrznych  $40 \times 40 \times 50 \text{ mm}^3$  i mocowane do zwierzęcia za pomocą rzepów lub taśm woltyżerskich w pożądanym miejscu, w sposób niezaburzający naturalnych ruchów zwierzęcia. Wstępne testy opracowanych elektronicznych układów prototypowych wykazały, że system może pracować w trybie ciągłym nie krócej niż 12 godzin.

Opracowywany system umożliwi ocenę ruchu konia lub krowy, w tym wykrywanie zwyrodnień i chorób. Cechą charakterystyczną tego systemu jest możliwość badania behawiorizmu zwierząt, poddając ocenie pomiar ruchu oraz pomiar funkcji życiowych. Cechą wyróżniającą ten system spośród innych opisanych w literaturze jest wykonywanie pomiarów w warunkach naturalnych dla zwierzęcia.

Zdaniem autorów niniejszego artykułu, opracowywany system stanie się doskonałym narzędziem w codziennej praktyce weterynaryjnej do monitorowania aktywności behawioralnej zwierząt, nowych metod diagnozy ruchu patologicznego lub nawet różnicowania wzorca ruchu konia wyścigowego od pozostałych użytkowości konia.

## Piśmiennictwo

1. Barrey E., Galloux P., Valette J. P., Auvient B., Wolter R.: Stride characteristics of over ground versus treadmill locomotion in the saddle horse. *Acta Anat. (Basel)*. 1993, 146, 90-94.
2. Buchner H. H., Savelberg H. H., Schamhardt H. C., Merckens H. W., Barneveld A.: Kinematics of treadmill versus overground locomotion in horses. *Equine Vet J.* 2007, 39, 407-413.
3. Church E. E., Walker A. M., Wilson A. M., Pfau T.: Evaluation of discriminant analysis based on dorsoventral symmetry indices to quality hindlimb lameness during over ground locomotion in the horse. *Equine Vet. J.* 2009, 41, 304-308.
4. Dziuba A.: Odwzorowanie stępa konia w mechanicznym siodle do hipoterapii. Zastosowanie metod statystycznych w badaniach naukowych II, Kraków 2003, StatSoft Polska. <http://www.statsoft.pl/czytelnia/badania-naukowe/d1biolmed/odwzorowanie-stepa.pdf>.
5. Dziuba A.: Trójwymiarowa analiza ruchu konia i siodła BABS the three dimensional analysis of horse walking and BABS saddle. *Biology of Sport*. 1997, 14, 292-296.
6. Galisteo A. M., Cano M. R., Morales J. L., Vivo J., Miró F.: The influence of speed and height at the withers on the kinematics of sound horses at the hand-led trot. *Vet. Res. Commun.* 1998, 22, 415-423.
7. Gućma M., Montewka J.: Podstawy morskiej nawigacji inercyjnej. Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2006. [http://jakubmontewka.com/documents/podstawy\\_nawigacji\\_inercyjnej\\_2006\\_polish.pdf](http://jakubmontewka.com/documents/podstawy_nawigacji_inercyjnej_2006_polish.pdf).
8. Keegan K. G., Yonezawa Y., Pai P. F., Wilson D. A.: Accelerometer-based system for the detection of lameness in horses. *Biomed. Sci. Instrum.* 2002, 38, 107-112.
9. Klepaczek F.: Ortopedia narządów ruchu zwierząt domowych. PWN, Warszawa 1965.
10. López-Sanromán F. J., Holmbak-Petersen R., Santiago I., Gómez de Segura I. A., Barrey E.: Gait analysis using 3D accelerometry in horses sedated with xylazine. *Vet. J.* 2012, 193, 212-216.
11. Moorman V. J., Reiser R. F. 2<sup>nd</sup>, McIlwraith C. W., Kawcak C. E.: Validation of an equine inertial measurement unit system in clinically normal horses during walking and trotting. *Am. J. Vet. Res.* 2012, 73, 1160-1170.
12. Olsen E., Andersen P. H., Pfau T.: Accuracy and precision of equine gait event detection during walking with limb and trunk mounted inertial sensors. *Sensors (Basel)*. 2012, 12, 8145-8156.
13. Pfau T., Robillard J. J., Weller R., Jaspers K., Eliashar E., Wilson A. M.: Assessment of mild hindlimb lameness during over ground locomotion using linear discriminant analysis of internal sensor data. *Equine Vet. J.* 2007, 39, 407-413.
14. Pfau T., Witte T. H., Wilson A. M.: A method for deriving displacement data during cyclical movement using an inertial sensor. *J. Exp. Biol.* 2005, 2503-2514.
15. Rollot Y., Lecuyer E., Chateau H., Crevier-Denoix N.: Development of a 3D model of the equine distal forelimb and of a GRF shoe for noninvasive determination of in vivo tendon and ligament loads and strains. *Equine Vet. J.* 2004, 36, 677-682.
16. Scheibke K. M., Gromann C.: Application testing of a new three-dimensional acceleration measuring system with wireless data transfer (WAS) for behavior analysis. *Behav. Res. Methods* 2006, 38, 427-433.
17. Walker A. M., Wilson A. M., Pfau T.: Comparison of kinematic symmetry index calculations and the effects of straight and circular trotting. *Equine Vet. J. Suppl.* 2010, 38, 482-487.
18. Warner S. M., Koch T. O., Pfau T.: Inertial sensors for assessment of back movement in horses during locomotion over ground. *Equine Vet. J. Suppl.* 2010, 38, 417-424.
19. Weishaupt M. A., Hogg H. P., Wiesstner T., Denoth J., Stüssli E., Auer J. A.: Assessment of mild hindlimb lameness during over ground locomotion using linear discriminant analysis of inertial sensor data. *Equine Vet. J.* 2007, 39, 407-413.
20. Weishaupt M. A., Wiesstner T., Hogg H. P., Jordan P., Auer J. A.: Vertical ground reaction force-time histories of sound Warmblood horses trotting on a treadmill. *Vet. J.* 2004, 168, 304-311.

Adres autora: lek. wet. Piotr Jóźwiak, ul. Strażacka 26, 62-002 Suchy Las