Wykorzystanie akcelerometru i żyroskopu w badaniach biomechanicznych koni

KATARZYNA BECKER, DOROTA LEWCZUK*

Katedra Hodowli Zwierząt, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
*Instytut Genetyki i Biotechnologii Zwierząt PAN w Jastrzębcu, ul. Postępu 36a, 05-552 Magdalenka

Otrzymano 19.06.2020

Zaakceptowano 01.09.2020

Becker K., Lewczuk D.

Use of accelerometer and gyroscope in biomechanical studies of horses

Summary

In recent years, along with the available techniques, the possibilities of measuring movement biomechanics have increased significantly. The monitoring of horses' activity is useful for carers, trainers and riders, because it allows them to provide the horses with appropriate health care, as well as to select appropriate diet and exercise intensity. This was made possible by modern inertia measuring devices (IMUs), non-invasive electronic devices based on accelerometry and rotation analysis. The purpose of this study is to review biomechanical tests performed on horses by means of these devices. Measurements obtained with accelerometers and gyroscopes are used in the fields of veterinary research, behaviour analysis and training. The quantitative and qualitative monitoring of horses' activity can play a key role in ensuring adequate living conditions and appropriate training loads. The first research using these techniques was carried out as early as the 1990s. Such research is currently used on a wide scale in biomechanical studies of horses, as well as in practice. Due to the growing interest in horse riding, it has become a valuable tool in training horses and in assessing their welfare.

Keywords: IMU, accelerometer, gyroscope, biomechanics, horse training

Interdyscyplinarne wykorzystanie urządzeń do analizy przyspieszeń opiera się na wiedzy projektowej, inżynierskiej i produkcyjnej. W szerokim i różnicowanym zakresie obszarów technicznych można je znaleźć w systemach obejmujących aplikacje motoryzacyjne, medyczne, elektroniczne, komunikacyjne i obronne. Podobnie analiza ruchu oparta na analizatorach przyspieszeń stała się uznanym narzędziem w optymalizacji treningu różnych dyscyplin sportowych. Jeźdźcy i trenerzy coraz częściej korzystają ze specjalistycznych urządzeń, które pozwalają monitorować podstawowe parametry zdrowia i dobrostanu koni, a przede wszystkim szczegółowo zmierzyć parametry treningu informujące o postępach i kondycji konia. Tego typu technologie nie tylko pomagają osiągnąć wyższe wyniki w sporcie, ale także wzbogacają relację pomiędzy koniem a jeźdźcą. Urządzenia do monitorowania treningu pozwalają lepiej zrozumieć konie – wspierają jeźdźcę wymiernymi informacjami. Sport jeździecki koncentruje się na współpracy konia i jeźdźcy, pomiar parametrów treningu może istotnie wpłynąć na dobór właściwych metod i stałe monitorowanie dyspozycji fizycznej koni. Obiecujące wydaje się połączenie metod wizualnych popartych pomiarami za pomocą

akcelerometrów (15), tym bardziej, że zyskują one na popularności (44). Ilościowe monitorowanie aktywności fizycznej może być również wykorzystywane do badań profilaktyki chorób, a także w odniesieniu do określenia prawidłowości stosowanej diety koni (30). W Polsce także rozpoczęto prace zmierzające do opracowania systemu oceny ruchu zwierząt oraz pomiaru dodatkowych funkcji życiowych u krów i koni (23).

Akcelerometry są używane w pomiarach statycznego przyspieszenia grawitacyjnego pozwalającego wyznaczyć kąt odchylenia obiektu od pionu, jak również w pomiarach przyspieszenia dynamicznego na skutek ruchu, uderzenia, wstrząsów lub wibracji. Żyroskopy z kolei mierzą prędkość kątową obiektów obracających się wokół jednej z osi układu kartezjańskiego. Możliwe jest też wyznaczenie na tej podstawie wartości kąta obrotu. W zależności od ustawienia czujnik przeznaczony do pomiaru prędkości kątowej wokół jednej aktywnej osi może też mierzyć ruch wokół pozostałych dwóch (1). Od lat są one częścią wielu specjalistycznych urządzeń i systemów, np. żyroskopy pokładowe już w latach 50. ub. wieku były instalowane w lotniczych przyrządach nawigacyjnych. Nowoczesne metody analiz biomechanicznych bazują na wykorzystaniu

akcelerometrów i żyroskopów w modelu jednostek pomiaru inercji – Inertial Measurement Unit (IMU). Systemy IMU są to jednostki do nawigacji inercyjnej wyposażone najczęściej w trzyosiowe żyroskopy i trzyosiowe przyspieszeniomierze, dzięki czemu jest możliwe dokładne śledzenie orientacji obiektu w każdej z dwóch osi, pozwalając na pomiar w trzech wymiarach. Nawigacja inercyjna polega na pomiarze przyspieszeń działających na obiekt oraz prędkości kątowych w celu określenia jego orientacji i położenia.

W literaturze dotyczącej lokomocji koni wiele stwierdzeń może wręcz zadziwiać. Jednym z nich jest stwierdzenie, że koń nie jest naturalnym skoczkiem, a zwolennicy tej opinii powołują się na dane dotyczące fizjologii i anatomii (29). Na przestrzeni lat powstało wiele prac badawczych wykorzystujących rozmaite sposoby pomiarów biomechaniki ruchu koni (13, 28), dzięki którym można znaleźć odpowiedź na podobne pytania. Do jednych z najbardziej nowoczesnych należą pomiary z wykorzystaniem akcelerometrów i żyroskopów. Niniejszy artykuł przedstawia, biorąc pod uwagę ostatnie dziesięciolecie, zastosowanie akcelerometrów i żyroskopów w użytkowaniu koni przy uwzględnieniu najważniejszych czynników wpływających na przebieg badań.

Poszukiwania podstawowych zasad biomechaniki ruchu koni były jednymi z pierwszych badań wykorzystujących analizatory przyspieszeń. Akcelerometr przymocowany do kopyta był początkowo najskuteczniejszym sposobem pomiarów przemieszczeń i punktów kontaktu kopyta z podłożem. W latach dziewięćdziesiątych XX w. zastosowano przyspieszeniomierze do pomiarów kontaktu kopyta z podłożem oraz oceny skuteczności podków i wkładek amortyzujących (2). Rozwój technik pozwolił na skorelowanie użycia przyspieszeniomierza z elektromiografią powierzchniową 7 mięśni kończyny tylnej wykonane u 5 koni, co pozwoliło na poszerzenie informacji o funkcji i czasie działania poszczególnych mięśni (39). Do badań kinematycznych ruchu kłusaków przeprowadzonych w Szwecji (19, 20) oprócz akcelerometrów umieszczonych na wysokości kości śródręcza oraz kopycie, wykorzystano także zsynchronizowaną płytę siłową oraz analizę wideo. Stwierdzono, że zwolnienie prędkości kopyta obserwowane w drugiej części fazy przemieszczania kończyny nad ziemią (29) jest ważnym czynnikiem tłumiącym wpływ sił powstających przy kontakcie kopyta z podłożem. Zbadano także, że długość tej fazy, i uzyskane zwolnienie prędkości mają istotne znaczenie dla zdrowia ortopedycznego przebadanych osobników. U 5 koni arabskich w warunkach terenowych sprawdzono występowanie zależności między charakterystyką chodów badanych przyspieszeniomierzami a zużyciem tlenu, analizowanym za pomocą przenośnego analizatora gazów oddechowych. Korelacje pomiędzy zmiennymi zużycia tlenu i chodu były istotne statystycznie i wysokie np. 0,68 dla czę-

stotliwości oddechów i częstotliwości kroków czy 0,97 dla wydechów i szybkości ruchu (9).

W celu poznania biomechaniki ruchu i reakcji fizjologicznych w czasie chodzenia w wodzie przy analizie programów rehabilitacji zbadano 9 koni bez wcześniejszego doświadczenia na bieżni wodnej i oceniano wpływ wysokości wody. Stwierdzono, że stabilny chód osiągany jest już w ciągu pierwszych sześciu sesji, przy czym chodzenie w wodzie na poziomie nadgarstka czy łokci dawało lepszą stabilność niż chodzenie w wodzie na wysokości kopyt (40). Greco-Otto i wsp. (18) dokonali analizy wpływu poziomu wody na obciążenia kończyn podczas zabiegów na bieżni wodnej u 22 koni rasy quarter horses. Trzy przyspieszeniomierze zamocowano na lewej kończynie przedniej. Konie sprawdzano przy dwóch różnych prędkościach (v_1 : 0,83 m/s, v_2 : 1,39 m/s) i trzech wysokościach wody oraz kontrolnie bez. Zanurzenie kończyn w wodzie podczas ćwiczeń zwiększyło tłumienie przyspieszeń w różnych segmentach kończyn, co wskazuje, że bieżnia wodna może mieć korzystny wpływ na proces rehabilitacji urazów kończyn. Analizę porównawczą technik pomiaru kinematycznego i akcelerometrycznego ruchu kopyta w kłusie wykonali badacze z Francji w celu sprawdzenia wpływu poślizgu kopyta na podłożu na pojawianie się problemów ortopedycznych. Cztery kłusaki francuskie wyposażone w akcelerometr poddano analizie obrazu ruchu kinematycznego. Obliczono podłużną odległość poślizgu z danych kinematycznych oraz z sygnału akcelerometru, stwierdzając porównywalność wyników na różnych powierzchniach (22).

Pomimo, że wzorce aktywności mięśni tułowia są często pomijane, mają duże znaczenie dla utrzymania właściwej postawy i kształtu ciała. Analiza biomechaniki tułowia w warunkach statycznych okazała się przydatna do prognozowania wzorców aktywności. Wykorzystano akcelerometr i elektromiografię powierzchniową (EMG) do ustalenia aktywności poszczególnych mięśni tułowia u 5 koni, badanych w trzech rodzajach chodu, w próbie pod jeźdźcem i bez siodła (27). Jednocześnie zastosowano pomiary przyspieszeń do określenia poprawności chodów, w tym kulawizn. Analizatory przyspieszeń posłużyły także do pomiarów wstrząsów w odcinku dystalnym kończyn w celu zbadania stopnia kulawizny koni z wykorzystaniem analizy symetrii wzorów przyspieszenia tułowia w kłusie i stępie (4). W innych badaniach dotyczących mechanizmów powstawania kontuzji u koni akcelerometr zamocowano na grzbietowej części kopyta. Zastosowanie wykresów konturowych pozwoliło na wizualizację czasu i lokalizację sił podczas uderzenia. Stwierdzono, że istotna energia występuje natychmiast po kontakcie kopyta z podłożem oraz zwrócono uwagę na to, że należy ostrożnie dobierać częstotliwość układów pomiarowych, aby zapobiec utracie danych (6). W badaniach dotyczących urazów kończyn u koni wyścigowych pełnej krwi określono, że momentem

krytycznym przy powstawaniu urazów kończyn przednich jest obciążenie powstające w 10-20 ms po kontakcie z podłożem (38). Kolejnego porównania wzorów fazy zwolnienia prędkości kopyt między przednimi i tylnymi kończynami w kłusie przed postawieniem na podłożu dokonano u 7 koni z wykorzystaniem przyspieszeniomierzy umieszczonych na kopytach przy jednoczesnym zastosowaniu płyt siłowych. Dane z płyt siły pokazały znacznie większy współczynnik pionowego impulsu siły (średnia $\pm$ s.d. $6,5 \pm 5,9$ N/s) i siły poziomej ($190,4 \pm 110,2$ N) w kończynie przedniej niż w tylnej. Parametry akcelometru wykazały brak znaczących różnic. Nie stwierdzono istotnej różnicy w zwolnieniu kopyt, wykresy ruchu wykazały wspólny wzór, który szczegółowo opisywał kinematykę przednich i tylnych kopyt w początkowej fazie hamowania (20). Keegan i wsp. (26) porównywali ocenę kulawizny koni kłusujących na bieżni i w ruchu swobodnym za pomocą dwóch akcelometrów jednoosiowych i dwóch żyroskopowych przetworników. Identyfikowali i oznaczali ilościowo kulawizny kończyny przedniej i tylnej. Opracowali algorytmy służące do pomiaru przesunięcia głowy i miednicy. Następnie Keegan i wsp. (25) rozwinęli koncepcję i przeprowadzili kontynuację badań na bieżni, porównując wyniki akcelerometryczne i żyroskopowe z techniką wykrywania ruchu obrazu. Zbadano 8 koni, w tym dwa z chorobami stawów, które oceniono przed i po blokadach nerwowych oraz cztery z kulawizną związaną z nieprawidłowym kuciem. Algorytm kwantyfikował wykrytą kulawiznę jako asymetrię. Korelacja między wynikami systemów analizatorów przyspieszeń i techniką wykrywania obrazu była liniowa i wysoka (0,95 dla kończyny przedniej i 0,82 kończyny tylnej). Inne badania z użyciem akcelometrów sprawdzały możliwość wykorzystania MP3 do rejestracji dźwięku ruchu konia i jego poprawności poprzez rejestrację odgłosów stawianych kopyt przednich i tylnych kończyn. Wyniki z akcelometru potwierdziły, że nagrywarki mogą być wykorzystane do identyfikacji odstępów dźwiękowych pomiędzy kontaktem kopyt z podłożem świadczących o poprawności ruchu (37). Zbadano także możliwość porównania pomiarów z akcelometrów z wynikami badań klinicznych przeprowadzonych przez doświadczonych lekarzy weterynarii. Zdrowe konie wyposażono w akcelometr i rejestrowano ich ruch na video w celu subiektywnej oceny. Wyniki symetrii ruchu mierzone akcelometrami wykazały istotny związek z oceną fachowców, co wskazuje, że analizatory przyspieszeń mogą być cennym narzędziem do wykrywania kulawizn (45). Możliwość wykorzystania akcelometru do użytku klinicznego potwierdzono w badaniach ruchu 236 koni (24). Wyniki dotyczące pomiarów ruchów tułowia oparte na czujnikach bezwładnościowych wykazały wysoką powtarzalność asymetrii ruchu głowy i miednicy u koni kulawych kłusujących w linii prostej. Starke i wsp. (42) także

przeprowadzili doświadczenie mające na celu ocenę poprawności chodów 10 koni w stępie i w kłusie za pomocą akcelometrów. Czujniki bezwładnościowe umieszczone na miednicy potwierdziły przydatność akcelometrów do identyfikacji kulawizn, proponowano także wykorzystanie metody u innych gatunków zwierząt. Olsen i wsp. (36) potwierdzili przydatność połączenia trzyosiowych żyroskopów z trzyosiowymi przyspieszeniomierzami (IMU), które pozwalają dokonywać pomiarów w trzech wymiarach. Czujniki zamocowano na grzbiecie i kończynie zadniej 7 koni w celu identyfikacji kulawizn. Badano również zastosowanie bezwładnościowego, bezprzewodowego systemu inercyjnego IMU do obiektywnej oceny reakcji koni na weterynaryjny test występowania szpata. U 17 dorosłych koni umieszczono akcelometr na głowie i miednicy oraz żyroskop na prawej przedniej kończynie. Odpowiedź na zgięcie była także niezależnie i subiektywnie oceniana przez fachowców jako negatywna lub pozytywna. Subiektywnie oceniona pozytywna reakcja na zgięcie była związana ze znacznymi zmianami w obiektywnych pomiarach symetrii miednicy. Wyniki potwierdzają możliwość użycia systemu IMU do obiektywnej oceny reakcji podczas prób zginania (31). Moorman i wsp. (33) dokonali walidacji systemu IMU w kontekście oceny norm klinicznych koni w stępie i w kłusie. Stwierdzono, że system pod wieloma względami jest obiecujący, jednak nie może być uważany za jednoznacznie wiarygodny w klinicznej ocenie kulawizn z powodu m.in. ograniczeń dokładności. Jeszcze w tym samym roku oceniono przydatność akcelometrów do oceny zmiany stabilności postawy, porównując dane z akcelometrów z wynikami płyt siły u 7 klinicznie zdrowych koni. Przeprowadzono minimum 5 prób dla czterech wariantów postawy, a także po podaniu ksylazyny. Współczynniki korelacji między systemami dla wszystkich zmiennych były niskie do umiarkowanych ($r = 0,18$ do $0,58$). Stwierdzono, że zastosowanie przyspieszeniomierzy powinno zostać dokładniej zbadane pod kątem przydatności w ocenie stabilności postawy u koni z zaburzeniami nerwowo-mięśniowymi (33). Badano także zmiany poziomu ataksji u koni po podaniu niskiej i wysokiej dawki ksylazyny. W celu ustalenia mierzalnych parametrów chodu w klinicznej postaci ataksji zastosowano akcelerometrię u 8 koni arabskich badanych na bieżni i przy zastosowaniu płyt siłowych. Podawanie ksylazyny indukowało zależną od dawki ataksję u koni i powodowało znaczące zmiany parametrów chodu, przyspieszenia miednicy i zmiennych stabilizacyjnych, z których niektóre zmieniły się w sposób zależny od dawki. Niektóre ze zmienionych parametrów chodu w tym modelu były prawdopodobnie wynikiem ogólnego spowolnienia cyklu kroku następującego po działaniu uspokajającym leku (35). Zastosowania akcelometrów w medycynie weterynaryjnej obejmowały ocenę czasu działania środków uspokajających na

podstawie i analizie ruchu obserwacji opadania warg. Sześć koni wprowadzono w stan uspokojenia przez podanie detomidyny i detomidyny z butofarnolem. Zwierzęta testowano po podaniu leku co 15 minut aż do upływu 2 godzin. Stwierdzono, że analizatory przyspieszeń mogą stanowić obiektywne narzędzie do monitorowania ruchu uspokojonych koni (17).

Na przestrzeni lat poza badaniami podstaw ruchu i diagnostyki kulawizn zaprezentowano wykorzystanie akcelerometrów i żyroskopów w badaniach naukowych o rozległej tematyce związanej ze sportem jeździeckim, m.in. w powiązaniu z kuciem czy wpływem podłoża na parametry ruchu. Porównano pomiary ruchu koni z niewerkowanymi kopytami, kopytami w podkowach klasycznych oraz z podkładką Equisoft i silikonowym wypełnieniem między kopytem a podkładką (2). Barrey i wsp. (3) stwierdzili, że chociaż podkuwanie może wpłynąć na amplitudę wibracji uderzeniowych na ścianę kopyta, wpływ podkuwania na amplitudę na poziomie stawu śródręczno-paliczkowego jest minimalny. Chateau i wsp. (7) sprawdzali u 3 kłusaków wyścigowych wpływ efektu nawierzchni przed i po przygotowaniu podłoża (wyrównanie, nawilżanie) na parametry biomechaniczne kłusa. Wstępne wyniki wykazały różnice pomiędzy biomechaniką kopyta na różnych nawierzchniach. Zwalnianie i wibracje kopyta przy uderzeniu zostały zmniejszone na powierzchni wyrównanej i nawodnionej, co sugeruje wyższą jakość amortyzującą takiego podłoża. Chateau i wsp. (8) wykorzystali także akcelerometry w ocenie wpływu podłoża na parametry ruchu, tym razem sprawdzając różnice oddziaływania suchej i wilgotnej nawierzchni piaszczystej oraz powierzchni asfaltowej. Prawe przednie kopyto 4 kłusaków było wyposażone w trójosiowe akcelerometry i podkowę dynamometryczną. Rejestracje przyspieszenia i siły zostały zsynchronizowane z filmem o wysokiej częstotliwości. Stwierdzono, że osuszone powierzchnie piasku zmniejszają wstrząsy i uderzenia siły kopyt. Właściwości tłumienia są związane z krótszą długością i wyższą częstotliwością kroku. Podobne badanie przeprowadzono celem porównania danych dotyczących przyspieszenia kopyt i siły reakcji podłoża u koni wyścigowych pełnej krwi na różnych podłożach. Do pomiarów wykorzystano akcelerometr i podkowę dynamometryczną. Przy syntetycznej powierzchni obserwowano stosunkowo niskie przyspieszenia kopyt, drgania i szczytowe wartości sił reakcji podłoża w stosunku do toru wyścigowego (41). Efekt wpływu podłoża na parametry galopu analizowano także za pomocą technik pomiaru kinematycznego i akcelerometrycznego. Porównywano obciążenia kończyn na nawierzchni trawiastej i piaszczystej, badając w galopie 5 koni. Badanie to potwierdziło właściwości tłumiące podłoża piaszczystych, które pozwalają koniom na bardziej elastyczny i wydajny ruch (10). Stuz i wsp. (41) oceniali różnice między trzema różnymi wzora-

mi ruchowymi kopyta okutego na trzy różne sposoby oraz kopyta nieokutego w kłusie na bieżni i na piasku z dodatkiem geowłókniny. Dziesięć zdrowych koni bez problemów ortopedycznych poddano badaniom trwającym 10 dni. Podkowy spowodowały znaczące zmiany wartości czasoprzestrzennych, co prawdopodobnie było efektem samego ciężaru podków a nie rodzaju kucia, ponieważ nie stwierdzono różnic pomiędzy poszczególnymi parametrami ruchu dla różnych typów kuć. Barstow i wsp. (5) sprawdzali ruch sześciu koni na trawie, piasku i asfalcie, mierząc siłę uderzenia i symetrię ruchu kopyta w stępie i w kłusie. Badanie potwierdziło rosnącą siłę i częstotliwość wibracji kopyta u koni kłusujących wraz ze wzrostem twardości nawierzchni. Kłus w porównaniu ze stępem powodował wzrost siły wibracji, jednak częstotliwość drgań pozostawała bez zmian.

W Japonii (32) z kolei badano dopuszczalną masę obciążenia koni ras rodzimych. Analizowano chód 6 kłaczy w stępie i w kłusie na prostym torze przy obciążeniu od 80 kg do 130 kg. Na podstawie symetrii ruchu wywnioskowano, że dopuszczalna masa nie powinna przekraczać 100 kg, czyli 30% masy koni. Autorzy proponują szersze użycie metody do określania maksymalnych obciążeń koni. W badaniach DuBois i wsp. (11) przetestowano rejestratory danych Onset Pendant G., które zostały umocowane na zadach 2 dorosłych koni w okresie 5 dni. Urządzenie rejestrowało pozycję zwierzęcia co 20 sekund. Nie stwierdzono różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi za pomocą akcelerometru a wynikami tradycyjnej analizy filmu, natomiast czułość urządzenia określono na poziomie 99%. Obecna technika pozwala także na zdalne odczytywanie takich danych za pomocą dronów (12). Morrison i wsp. (34) oceniali użyteczność akcelerometrów do pomiarów aktywności fizycznej koni, badając zwierzęta prowadzone w rękę i podczas swobodnego wypasania, i porównując wyniki z analizami filmów. Dane poziomów aktywności 20 koni zmierzone przez analizatory przyspieszenia były zbliżone do poziomów aktywności koni podczas badania „w rękę” mierzonymi tradycyjnymi metodami (video). Na tej podstawie stwierdzono, że akcelerometry są prawidłową metodą kontrolowanego pomiaru aktywności fizycznej u koni. Fries i wsp. (16) wykorzystali czujniki akcelerometryczne w celu oszacowania ilościowej aktywności motorycznej koni. Akcelerometr, który mierzył aktywność i liczbę kroków umieszczono na głowie, kłębie oraz kończynie przedniej i tylnej u 6 koni. Porównano wartości aktywności dla wypasania, stępowania, kłusowania i galopowania. Urządzenie było w stanie oszacować aktywność bez względu na miejsce czujnika, odróżnić chody i prędkości. Najdokładniejsze pomiary uzyskano z czujnika umiejscowionego na kończynie tylnej. Stwierdzono także, że liczenie kroków może być użyteczne dopiero po ręcznym poprawieniu wyników dla stępa (podwojone pomiary w stosunku do

obserwacji). Inne interesujące badanie (30) miało na celu ocenę aktywności koni w zależności od wielkości pastwiska. Przy pomocy akcelerometrów monitorowano 6 koni przez 20 kolejnych dni oceniając czas chodzenia, wypasania i leżenia. Badanie wykazało, że wielkość pastwiska jest powiązana z aktywnością ruchową. Małe padoki w porównaniu ze standardowymi zwiększały czas stania koni i zmniejszały czas przemieszczania. Czas pasienia się był porównywalny na obu przypadkach. Przeprowadzono badanie zachowania koni przy zastosowaniu klocków i łańcuchów zakładanych na przednich nogach na 20 minut w ciągu 5 dni (14). Sprawdzono poziom kortyzolu w osoczu oraz aktywność fizyczną z zastosowaniem analizatorów przyspieszenia. Każdorazowo uzyskano wyniki wskazujące na stres koni o różnym natężeniu. Interesującym zastosowaniem akcelerometrów może okazać się sprawdzane przez Hartmanna i wsp. (21) wykorzystanie czujników do sygnalizowania porodu u klaczy. Czujniki umieszczono na kantarach 8 klaczy w zaawansowanej ciąży i oceniano niepokój występujący przed wyźrebieniem na podstawie aktywności ruchowej.

Dotychczas w niewielkim stopniu wykorzystywano w biomechanice urządzenia typu akcelerometr czy żyroskop do badań dotyczących samych metod treningowych koni, to samo dotyczy układów scalonych IMU czy MEMS (od ang. mikroukład elektromechaniczny). Już w 2007 r. (23) przedstawiono projekt urządzenia śledzącego i monitorującego w czasie rzeczywistym pozycję, prędkość i stany fizjologiczne koni do celów treningu jeździeckiego. W ciągu kilku ostatnich lat pojawiły się urządzenia wdrażające założenia projektu i stopniowo zyskują na popularności wśród amatorów i zawodowców uprawiających jeździectwo, gdzie zastosowano pomiary GPS i model IMU w celu wychwycenia pozycji konia i dynamiki ruchu. Opisano zastosowanie tego typu urządzeń w treningu koni ujeżdżeniowych w celu dopracowania umiejętności jeźdźcy i konia, dzięki ilościowemu pomiarowi parametrów ruchu. Obiecujące wydaje się zastosowanie omówionych technik w badaniach biomechanicznych dotyczących skoku, gdyż w zestawieniu z metodami jakościowymi mogą okazać się niezastąpione (45).

Podsumowując przedstawiony przegląd literatury należy stwierdzić, że zainteresowanie nowymi możliwościami badań i zastosowanie akcelerometrów, a w późniejszym okresie akcelerometrów i żyroskopów znacząco wzrasta. Z początkowej fazy badań głównie określania poprawności chodu i stopnia kulawizn znalazły one szersze zastosowanie w medycynie weterynaryjnej i zootechnice, i to w coraz szerszym zakresie badań jak analizy treningu czy dobrostanu koni. Dane zbierane są w coraz mniej inwazyjny sposób – bezkontaktowo za pomocą sieci internetowych czy za pomocą dronów. Nie bez znaczenia jest w tym rozwoju także ewolucja myśli technicznej – liczba analizatorów jest

coraz większa w coraz mniejszych urządzeniach w formie minimalistycznych układów scalonych. Połączenie coraz większej liczby analizatorów daje coraz szersze możliwości. Dzięki takim możliwościom przechodzą one z etapu zastosowań badawczych do codziennej praktyki jak obecnie stosowane modele jednostek pomiaru inercji (IMU) – typu Equimetrics, Seaver czy EquiMoves.

Piśmiennictwo

1. Balcerzak J.: Rozpoznawanie wzorców ruchowych przy użyciu żyroskopu i akcelerometru. Praca magisterska 2015, 10-13.
2. Back W., Clayton H. M.: Equine Locomotion. wyd. Saunders, Elsevier Ltd. 2013.
3. Barrey E., Galloux P.: Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. Equine Vet. J. 1997, 23, 45-49.
4. Barrey E., Hermelin M., Vaudelin J. L., Poirel D., Valette J. P.: Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis. Equine Vet. J. 1994, 26, 7-12.
5. Barstow A., Bailey J., Campbell J., Harris C., Weller R., Pfau T.: Does 'hacking' surface type affect equine forelimb foot placement, movement symmetry or hoof impact deceleration during ridden walk and trot exercise? Equine Vet. J. 2019, 51, 108-114.
6. Burn J. F., Wilson A., Nanson G. P.: Impact during equine locomotion: techniques for measurement and analysis. Equine Vet. J. 2017, 29, 9-12.
7. Chateau H., Holden L., Robin D., Falala S., Pourcelot P., Estoup P., Denoix J. M., Crevier Denoix N.: Biomechanical analysis of hoof landing and stride parameters in harness trotter horses running on different tracks of a sand beach (from wet to dry) and on an asphalt road. Equine Vet. J. 2010, 42, 488-495.
8. Chateau H., Robin D., Simonelli T., Pacquet L., Pourcelot P., Falala S., Denoix J. M., Crevier-Denoix N.: Design and validation of a dynamometric horseshoe for the measurement of three-dimensional ground reaction force on a moving horse. J. Biomech. 2009, 42, 336-340.
9. Cottin F., Metayer N., Goachet A. G., Julliand V., Slawinski J., Billat V., Barrey E.: Oxygen consumption and gait variables of Arabian endurance horses measured during a field exercise test. Equine Vet. J. 2010, 42, 1-5.
10. Crevier-Denoix N., Pourcelot P., Holden-Douilly L., Camus M., Falala S., Ravary-Plumioën B., Vergaria C., Desquilbet L., Chateau H.: Discrimination of two equine racing surfaces based on forelimb dynamic and hoof kinematic variables at the canter. Vet. J. 2013, 198, 123-129.
11. DuBois C., Zakrajsek E., Haley D., Merckes K.: Validation of triaxial accelerometers to measure the lying behaviour of adult domestic horses. Animal 2015, 9, 110-114.
12. Díaz-Delgado R., Múcher S.: Editorial of Special Issue Drones for Biodiversity Conservation and Ecological Monitoring. Drones 2019, 47.
13. Dzierżęcka M., Kobryń H.: Kinematics analysis of equine paces. Med. Weter. 2004, 60, 360-363.
14. Everett J. B., Schumacher J., Doherty T. J., Black R. A., Amelse L. L., Krawczel P., Coetzee J. F., Whitlock B. K.: Effects of stacked wedge pads and chains applied to the forefeet of Tennessee Walking Horses for a five-day period on behavioral and biochemical indicators of pain, stress, and inflammation. Am. J. Vet. Res. 2018, 79, 21-32.
15. Fercher Ch.: The Biomechanics of Movement of Horses Engaged in Jumping Over Different Obstacles in Competition and Training. J. Equine Vet. Sci. 2017, 49, 71-80.
16. Fries M., Montavon S., Spadavecchia C., Levionnois O. L.: Evaluation of a wireless activity monitoring system to quantify locomotor activity in horses in experimental settings. Equine Vet. J. 2017, 49, 225-231.
17. Frigerio M. A., Gómez Cisneros D., Lorente I. S., Manso-Díaz, G., López-Sanromán J.: A kinematic comparison of the locomotor pattern of horses sedated with detomidine alone and in combination with low doses of butorphanol. Equine Vet. J. 2019, 51, 825-830.
18. Greco-Otto P., Baggaley M., Edwards W. B.: Water treadmill exercise reduces equine limb segmental accelerations and increases shock attenuation. BMC Vet. Res. 2019, 15, 329.
19. Gustås P., Johnston C., Roepstorff L., Drevemo S.: In vivo transmission of impact shock waves in the distal forelimb of the horse. Equine Vet. J. Suppl. 2001, 33, 5-11.
20. Gustås P., Johnston C., Roepstorff L., Drevemo S., Lanshammar H.: Relationships between fore- and hindlimb ground reaction force and hoof deceleration patterns in trotting horses. Equine Vet. J. 2004, 36, 737-742.
21. Hartmann C., Lidauer L., Aurich J., Aurich C., Nagel C.: Detection of the time of foaling by accelerometer technique in horses (Equus caballus) – a pilot study. Reprod. Dom. Anim. 2018, 53, 1279-1286.

22. Holden-Douilly L., Pourcelot P., Desquilbet L., Falala S., Crevier-Denoix N., Crevier-Denoix H.: Equine hoof slip distance during trot at training speed: Comparison between kinematic and accelerometric measurement techniques. *Vet. J.* 2013, 197, 198-204.
23. Józwiak P., Jaśkowski B. M., Józwiak A., Kosek W., Knapkiewicz P., Jaśkowski J. M.: Kinematyczna ocena ruchu konia. *Med. Weter.* 2014, 70, 30-35.
24. Keegan K. G., Kramer J., Yonezawa Y., Maki H., Pai F., Dent E. V., Kellerman T. E., Wilson D. A., Reed K. S.: Assessment of repeatability of a wireless, inertial sensor-based lameness evaluation system for horses. *Am. J. Vet. Res.* 2011, 72, 1156-1163.
25. 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.
26. Keegan K. G., Yonezawa Y., Pai P. F., Wilson D. A., Kramer J.: Evaluation of a sensor-based system of motion analysis for detection and quantification of forelimb and hind limb lameness in horses. *Am. J. Vet. R.* 2004, 65, 665-670.
27. Kienapfel K., Preuschoft H., Wulf A., Wagner H.: The biomechanical construction of the horse's body and activity patterns of three important muscles of the trunk in the walk, trot and canter. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2018, 102, 818-827.
28. Lewczuk D.: Basic biomechanical terminology concerning horses. *Med. Weter.* 2004, 60, 1326-1328.
29. Lewczuk D.: Biomechanika skoku konia. *Prace i Mat. Zoot.* 2004, 62, 23-36.
30. Maisonnier I. N., Sutton M. A., Harris P., Menzies Gow N., Weller R., Pfau T.: Accelerometer activity tracking in horses and the effect of pasture management on time budget. *Equine Vet. J.* 2019, 51, 840-845.
31. Marshall J. F., Lund D. G., Voute L. C.: Use of a wireless, inertial sensor-based system to objectively evaluate flexion tests in the horse. *Equine Vet. J.* 2012, 44, 8-11.
32. Matsuura A., Irimajiri M., Matsuzaki K., Iraguri Y., Nakanowatari T., Yamazaki A., Hodate K.: Method for estimating maximum permissible load weight for Japanese native horses using accelerometer based gait analysis. *Anim. Sci. J.* 2013, 84, 75-81.
33. Moorman V. J., Reiser R. F., McIlwraith C. W., Kawcak E. Ch.: Validation of an equine inertial measurement unit system in clinically normal horses during walking and trotting. *Am. J. Vet. Res.* 2012, 73, 1160-1170.
34. Morrison R., Sutton D. G. M., Ramsay C. et al.: Validity and practical utility of accelerometry for the measurement of in-hand physical activity in horses. *BMC Vet. Res.* 2015, 11, 233.
35. Nout Lomas Y., Page K., Kang H., Aanstoos M., Greene H.: Objective assessment of gait in xylazine induced ataxic horses. *Equine Vet. J.* 2017, 49, 334-340.
36. 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* 2012, 12, 8145-8156.
37. Parsons K. J., Wilson A. M.: The use of MP3 recorders to log data from equine hoof mounted accelerometers. *Equine Vet. J.* 2006, 38, 675-680.
38. Pratt G. W.: Model for injury to the foreleg of the Thoroughbred racehorse. *Equine Vet. J.* 1997, 29, 30-32.
39. Robert C., Valette J. P., Degueurce C., Denoix J. M.: Correlation between surface electromyography and kinematics of the hindlimb of horses at trot on a treadmill. *Cell Tissues Organs* 1999, 165, 22-113.
40. Scott R., Nankervis K., Stringer C., Westcott K., Marlin D.: The effect of water height on stride frequency, stride length and heart rate during water treadmill exercise. *Equine Vet. J.* 2010, 42, 662-664.
41. Setterbo J. J., Garcia T. C., Campbell I. P., Reese J. L., Morgan J. M., Kim S. Y., Hubbard M., Stover S. M.: Hoof accelerations and ground reaction forces of Thoroughbred racehorses measured on dirt, synthetic, and turf track surfaces. *Am. J. Vet. Res.* 2009, 70, 1220-1229.
42. Starke S. D., Witte H. T., Maya S. A., Pfau T.: Accuracy and precision of hind limb foot contact timings of horses determined using a pelvis-mounted inertial measurement unit. *J. Biomech.* 2012, 45, 1522-1528.
43. Stutzl J. Ch., Vidondo B., Ramseyer I. A., Maninchedda U. E., Cruz A. M.: Effect of three types of horseshoes and unshod feet on selected non-podal forelimb kinematic variables measured by an extremity mounted inertial measurement unit sensor system in sound horses at the trot under conditions of treadmill and soft geotextile surface exercise. *Vet. Rec. Open* 2018, 5, 237.
44. Thompson K., Clarkson L.: How owners determine if the social and behavioral needs of their horses are being met: Findings from an Australian online survey. *Equitation Science: Improved welfare through scientific data* 2019, Aust. *Equine Vet.* 29, 128-133.
45. Thomsen M. H., Persson A. B., Jensen A. T., Sørensen H., Andersen P. H.: Agreement between accelerometric symmetry scores and clinical lameness scores during experimentally induced transient distension of the metacarpophalangeal joint in horses. *Equine Vet. J.* 2010, 42, 510-515.

Adres autora: mgr inż. Katarzyna Becker, Krukówko 38, 89-115 Mrocza;
e-mail: becker.kasia@wp.pl.