

**Magdalena SOBUŚ, Marzena IWANIEC, Aleksandra FRONTCZAK, Sylwia ŁAGAN,**  
Instytut Mechaniki Stosowanej, Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki,  
Politechnika Krakowska, Kraków

## **ANALIZA BIOMECHANICZNA OBCIĄŻENIA W KOŃCZYNI DOLNEJ PODCZAS JAZDY KONNEJ**

Streszczenie. W niniejszym referacie podjęto próbę analizy wpływu długości strzemion w jeździe konnej na obciążenia powstające w kończynie dolnej. Wraz ze zmianą długości strzemion zmienia się kąt zgięcia nogi w stawie kolanowym oraz skokowym.

### 1. WSTĘP

Nie od dziś wiadomo, że uprawianie sportu szczególnie na poziomie rekreacyjnym wiąże się z szeregiem korzystnych czynników wpływających na nasz organizm. Poprawia się kondycja, siła, zręczność i ogólna sprawność, uprawianie sportu wpływa korzystnie na nasze samopoczucie. Współzawodnictwo i rywalizacja pozytywnie motywuje i zachęca szczególnie dzieci i młodzież do ćwiczeń i treningów sportowych, mających na celu poprawę uzyskiwanych rezultatów. W pewnym jednak momencie, to co do tej pory było typową rekreacją, mającą na celu przyjemność z ćwiczeń, staje się powoli amatorskim (lub później zawodowym) uprawianiem sportu, gdzie ważniejsze niż dobra zabawa stają się osiągnięte wyniki sportowe.

Uprawianie sportu wyczynowo, a właściwie bezkrytyczny pościg za wynikami nieustannie wiąże się z kontuzjami, urazami oraz przeciążeniami, na które narażone jest ciało sportowca. Uraz taki może być wynikiem nadmiernego obciążenia, przekroczenia zakresu ruchów, a więc może być spowodowany przez samego kontuzjowanego sportowca, lub też może być wynikiem kontaktu z innym zawodnikiem. W tym ostatnim przypadku kontakt może stanowić faul albo mieścić się w granicach przepisów danej dyscypliny. Na urazy ostre najbardziej narażeni są zawodnicy uprawiający takie dyscypliny jak m.in. wyścigi samochodowe, jeździectwo czy też narciarstwo.

Jazda konna naszym zdaniem jest bardzo ciekawym przypadkiem aktywności fizycznej. Z jednej strony wykorzystuje podobieństwo ruchów konia do ruchów człowieka, aby przy pomocy hipoterapii pomóc osobom niepełnosprawnym w powrocie do zdrowia. Terapeutyczna i rekreacyjna jazda konną dla wielu osób jest wspaniałą okazją do czerpania korzyści z aktywności fizycznej, ponieważ jeździectwo wzmacnia (podobnie jak pływanie) bardzo szeroki zakres mięśni biorących udział w utrzymywaniu prawidłowej postawy ciała. Jednak z drugiej strony jeździectwo jest jednym z wyczynowych sportów olimpijskich, często zaliczanych do grupy sportów ekstremalnych. Upadki w jeździectwie stwarzają większe zagrożenie niż wyścigi samochodowe, gdzie w związku z osiąganymi przez zawodników prędkościami mamy do czynienia z szeregiem zabezpieczeń.

W związku z tym jak w każdym sporcie wyczynowym mamy do czynienia z obciążeniami wynikającymi ze spędzania wielu godzin treningów w pozycjach, które w nadmierny sposób obciążają nasze stawy. W niniejszej pracy dokonano analizy obciążeń stawu kolanowego, ponieważ z własnych doświadczeń i kontaktu ze środowiskiem jeździeckim wiadomo, iż obok bólów pleców najczęściej wymienianymi przez zawodników dolegliwościami są bóle

kolan, bezpośrednio związane z rodzajem uprawianej dyscypliny jeździeckiej i czasem spędzonym w siodle.

## 2. DOSIAD JEŹDZIECKI [1,2]

Każdy kto kiedykolwiek miał możliwość spróbowania w swoim życiu jazdy konnej na pewno wie jak ciężko szczególnie początkującym osobom zapanować nad swoim ciałem aby nie tylko utrzymać się w siodle, a pozostać w harmonii z koniem podążając za jego ruchem. Stojąc z boku, z ust instruktorów można usłyszeć powtarzające się prośby o uspokojeniu rąk, wyprostowaniu pleców, rozluźnieniu stawów, obciążeniu pięt. Często ponawiane są prośby o nie trzymanie się kurczowo kolanami oraz aby wszystkie stawy pozostawały luźne, gotowe do amortyzacji ruchów konia. Można się zastanowić czemu to wszystko właściwie ma służyć i jaki jest ideał dosiadu jeździeckiego. To prawa fizyki, którym jeździec musi się poddać aby pozostać w równowadze, ponieważ bez równowagi nie ma mowy o dalszym postępie i wykonywaniu bardziej zaawansowanych ćwiczeń. Równowaga to podstawa wszystkiego. Jeździec siedzący na koniu powinien pozostawać w takiej równowadze, aby po „usunięciu” spod niego konia stał on na ziemi równo na obu nogach. Podstawowym warunkiem takiego oddziaływania jest prawidłowy dosiad. W zależności od uprawianej dyscypliny jeździeckiej rodzaje przyjmowanego dosiadów różnią się od siebie jednak w każdym z nich tak samo wymagana jest równowaga.

Każdy z dosiadów można porównać do pozycji wyprostowanej, w której możemy poprowadzić linię prostą przez ucho, staw ramieniowy, 2 krąg krzyżowy, biodro i staw skokowy. Różnica polega tylko na zmianie kąta ugięcia w kolanach, co wiąże się również ze zmianą obciążenia tego stawu. Począwszy od komfortowego i bardzo stabilnego dosiadu westernowego, przez dyscypliny jeździectwa klasycznego: ujeżdżenie, w którym pożądana jest jak najdłuższa noga i skoki, gdzie zgięcie w kolanie jest znacznie większe, aż po dosiad wyścigowy, w którym to zgięcie jest skrajnie duże.

### 2.1. Dosiad westernowy

Jeżeli jeździec westernowy siedzi prawidłowo, można od jego ucha, przez ramię i biodro do pięty, poprowadzić pionową linię prostą. Długość puślik (skórzane rzemienie, na których wiszą strzemiona) jest ważnym elementem prawidłowego dosiadu westernowego. Kąt tworzony przez górną część nogi (od biodra do kolana) powinien być taki sam, jak kąt tworzony przez dolną część nogi (od kolana do kostki). Stopy powinny znajdować się bezpośrednio poniżej ciała jeźdźcy. W najszerszym miejscu spoczywają one w strzemieniu, podczas gdy pięty są obciążone w dół.

### 2.2. Dosiad ujeżdżeniowy

Dosiad ujeżdżeniowy zwany jest też dosiadem podstawowym, stanowi fundament wszystkich form dosiadu. Używa się go w pracy ujeżdżeniowej z koniem i jeźdźcem, a po skróceniu strzemion do jazdy skokowej i terenowej. Dosiad ten bywa zróżnicowany w zależności od budowy jeźdźcy oraz wysokości i wysklepienia żeber konia.

Jeździec siedzi prosto tak, że można poprowadzić pionową linię od ucha, przez bark, staw biodrowy i staw skokowy, kolana są ugięte pod takim kątem aby stopa, widziana z boku znajdowała się pod środkiem ciężkości jeźdźcy (przy zaawansowanym poziomie jest to kąt około 170 [°]), co jest niezbędne do prawidłowego zachowania równowagi, uda są skierowane lekko do wewnątrz aby wraz z kolanami lekko przylegały do siodła. Położenie kolan jest uzależnione od ustawiania ud, powinny leżeć nisko. Najniższym punktem jeźdźcy siedzącego na koniu są pięty, których położenie wynika z ustawiania łydek.



Rys.1. Jeździec prezentujący dosiad ujeżdżeniowy [4]

### 2.3. Dosiad skokowy

Jak już wspomniano wcześniej fundamentem dosiadu skokowego jest prawidłowy dosiad ujeżdżeniowy. Po znacznym skróceniu strzemion uzyskujemy nieco inną sylwetkę jeźdźca, jest to możliwe dzięki stosowaniu siodła skokowego pozwalającego na wysunięcie kolana bardziej do przodu, niż przy dosiadzie ujeżdżeniowym. Ściśle związany z tym rodzajem dosiadu jest stosowanie w konkursach skoków przez przeszkody dosiadu odciążającego jakim jest półsiad. Dzięki niemu możliwa jest zmiana środka ciężkości, zaś przejścia pomiędzy różnymi stopniami odciążenia są zmienne. Fundamentem półsiadu jest mocno zamknięte kolano, niezmienna pozycja łydki i sprężynujący do dołu staw skokowy [2].



Rys.2. Jeździec w dosiadzie skokowym [4]

### 2.4 Dosiad wyścigowy

Ten rodzaj dosiadu jest dosiadem znaczenie odciążającym grzbiet konia, stosowanym jak nazwa wskazuje przez dżokejów podczas wyścigów. Dosiad ten wymaga specjalnego siodła, które wymaga znacznego skrócenia strzemion. Jeździec staje w strzemionach, przez co jego środek ciężkości i znajduje się dużo wyżej nad środkiem ciężkości konia niż zwykle, w efekcie trudniej utrzymać dobrą równowagę.

## 3. BUDOWA ANATOMICZNA

### 3.1. Budowa anatomiczna stawu kolanowego

Staw kolanowy jest największym i najbardziej złożonym stawem w naszym ustroju. Jest również najbardziej narażony na urazy, stany zapalne i zmiany zwyrodnieniowe. Staw

kolanowy jest drugim najbardziej obciążanym stawem człowieka – zaraz po stawie skokowym. Jest miejscem połączenia kości udowej z piszczelową oraz z rzepką, tworząc w ten sposób staw udowo-piszczelowy i udowo-rzepkowy, które otoczone są wspólną torebką stawową. Podstawowymi ruchami w stawie kolanowym są zginanie i przeprost jednak w zgięciu możliwe są niewielkie ruchy rotacyjne. Elementami przenoszącymi obciążenia, są obydwie kłykcie kości udowej wraz z powierzchniami, które dopasowują się do panewki stawowej kości piszczelowej. Staw kolanowy stabilizowany jest m.in. przez rzepkę od przodu, przez więzadła w płaszczyźnie czołowej więzadłami pobocznymi – piszczelowym i pobocznym strzałkowym, natomiast więzadła krzyżowe przednie i tylne stabilizują staw przede wszystkim w położeniu zgięciowym. Mięśnie stanowią element decydujący o funkcjach motorycznych stawu; stanowią układ napędowy, zbudowane są z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej, a ich działanie wynika z miejsca przyczepienia.

### 3.2. Mięśnie kończyny dolnej, działające w obrębie stawu kolanowego

Mięśnie działające w obrębie stawu kolanowego to: mięsień krawiecki, smukły, półścięgnisty, półbłoniasty, dwugłowy i podkolanowy (mięśnie zginające podudzie) oraz mięsień czworogłowy, prostujący podudzie, jednak zasadniczą rolę w stabilnym ruchu stawu kolanowego pełnią: mięsień pośladkowy wielki, czworogłowy uda oraz brzuchaty łydki.

Mięśnie zginające kończynę dolną w stawie kolanowym to: dwugłowy uda, mięsień półścięgnisty i półbłoniasty (leżący pod półścięgnistym), natomiast mięśnie-prostowniki to: krawiecki, czworogłowy uda i stawowy kolana.

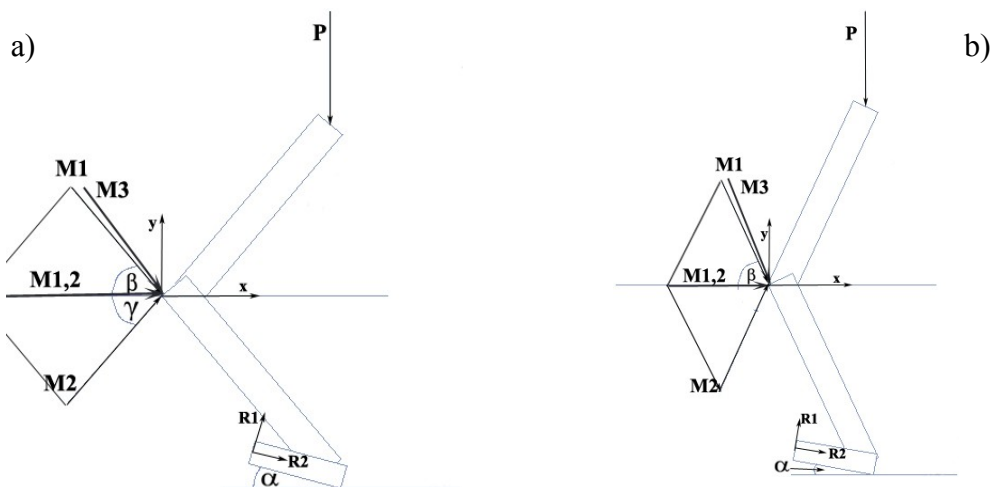
### 3.3. BUDOWA ANATOMICZNA STOPY

Stopa zaś jest dolną częścią kończyny dolnej, usytuowana pod kostką. Prawidłowo zbudowana stopa dotyka podłoża guzem kości piętowej oraz głowami I i V kości śródstopia. Opiera się ona również częściowo na bocznym brzegu stopy. Brzeg przyśrodkowy stopy jest uniesiony tworząc sklepienie podłużne. Sklepienie poprzeczne tworzy odpowiednie ułożenie kości śródstopia. Taka budowa stopy umożliwi nie tylko przenoszenie dużych obciążeń, ale przyczynia się również do amortyzacji wstrząsów. Kości stopy dzielimy na kości stępu, śródstopia I kości palców. Budowa stopy jest niezwykle skomplikowana i jest ona fundamentem, bez którego niemożliwe byłoby sprawne poruszanie się. Leonardo da Vinci stwierdził iż: „Ludzka stopa jest machiną o mistrzowskiej konstrukcji oraz dziełem sztuki”. Stopy odgrywają również bardzo ważną rolę w prawidłowym dosiadzie jeździeckim, zapewniają bowiem stabilne oparcie na strzemieniu, które powinno spoczywać w najszerszym miejscu stopy: tuż pod palcami. To właśnie na stopach i kolanach spoczywa większość ciężaru jeźdźca.

## 4. SCHEMATY OBCIĄŻEŃ, OBLICZENIA

Do obliczeń posłużono się modelem biomechanicznym stawu kolanowego zaproponowanym przez Maqueta (rys.3). Model obciążeniowy Maqueta obejmuje opis sił działających na kolano zarówno w płaszczyźnie strzałkowej jak i czołowej w trakcie wykonywania przez człowieka różnych czynności [3]. Badacz ten opisuje wektory sił i momentów działających na poszczególne elementy stawu z uwzględnieniem oddziaływania najważniejszych grup mięśniowych. W pracy wykonano obliczenia dla dwóch najczęstszych rodzajów dosiadu jeździeckiego: typowego dosiadu w siodle skokowym oraz ujeżdżeniowym. Poniższe schematy uwzględniają działanie siły P (ciężar ciała) oraz sił mięśniowych M1 (oddziaływanie więzadła rzepkowego) i M2 (oddziaływanie mięśnia czworogłowego), w modelach zastosowano również utwierdzenie stopy w strzemieniu (R1, R2), pominięto siły bezwładności. Oczywiście obciążenie kończyny dolnej, a głównie stawu kolanowego może

zależać od wielu czynników (powierzchnie stawu, deformacje, zmiany kątów, zmiany wartości sił mięśniowych), w niniejszym referacie analizie poddano jedynie wpływ zmiany kątów w stawach skokowym i kolanowym.



Rys. 1. Schemat kończyny dolnej: a) dosiad skokowy, b) dosiad ujeżdżeniowy w oparciu o model kolana wg Maqueta [3]

Równania równowagi dla powyższych elementów bez uwzględnienia sił mięśniowych przedstawiają się następująco:

$$R2 \sin(\alpha) + R1 \cos(\alpha) = 0 \tag{1}$$

$$R2 \cos(\alpha) + R1 \sin(\alpha) - P = 0 \tag{2}$$

$$\left\{ R1 = -\frac{P \sin(\alpha)}{\cos(\alpha)^2 - \sin(\alpha)^2}, R2 = \frac{\cos(\alpha) P}{\cos(\alpha)^2 - \sin(\alpha)^2} \right\} \tag{3}$$

Oraz z uwzględnieniem sił mięśniowych M1 i M2:

$$R2 \sin(\alpha) + R1 \cos(\alpha) + M3 \sin(\beta) + M12 = 0 \tag{4}$$

$$R2 \cos(\alpha) + R1 \sin(\alpha) - P - M3 \cos(\beta) = 0 \tag{5}$$

$$\left\{ M12 = -\frac{R2 \sin(\alpha) \cos(\beta) + R1 \cos(\alpha) \cos(\beta) + \sin(\beta) R2 \cos(\alpha) + \sin(\beta) R1 \sin(\alpha) - \sin(\beta) P}{\cos(\beta)}, \right. \tag{6}$$

$$\left. M3 = \frac{R2 \cos(\alpha) + R1 \sin(\alpha) - P}{\cos(\beta)} \right\} \tag{7}$$

Po przeanalizowaniu zdjęć jeźdźców w dosiadzie skokowym oraz ujeżdżeniowym ustalono uśrednione wartości kątów dla każdego z analizowanych dosiadów (tabela 1).

Tabela 1. uśrednione wartości kątów dla dosiadów jeźdźców

kąty	skokowy	ujeżdżeniowy
$\alpha$	16°	12°
$\beta$	50°	65°

## 5. PODSUMOWANIE

W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń (wartości bezwzględne) sił R1, R2, M1,2 i M3.

Tabela 2. Wyniki obliczeń w funkcji ciężaru jeźdźca

	dla dosiada skokowego	dla dosiada ujeżdżeniowego
R1	0,331P	0,221P
R2	1,14P	1,08P
M1,2	0,4P	0,48P
M3	0,84P	1,56P

Jak widać wpływ kątów ugięcia nogi szczególnie widać w reakcjach R1 i R2, które są wyraźnie większe u jeźdźca w dosiadzie ujeżdżeniowym. Natomiast nieco zaskakujący jest fakt, iż siła M1,2 (oddziaływania rzepki na kość udową) jest porównywalna w dwóch rozpatrywanych przypadkach, zaś M3 jest znacząco mniejsza dla dosiada skokowego czyli w sytuacji większego ugięcia nogi. Oczywiście nie należy zapominać o zastosowanych uproszczeniach (głównie w rozrysowaniu sił działających w stawie kolanowym), które niewątpliwie mogły mieć wpływ na uzyskane wyniki.

## LITERATURA

- [1] Swift S.: Harmonia jeźdźca i konia, Łódź: Galaktyka, 2005,  
 [2] Pruchniewicz W.: Akademia Jeździecka, Chamber PR, 2007,  
 [3] Kowalewski P.: Modelowanie tarcia w endoprotezie stawu kolanowego, praca doktorska, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2007,  
 [4] Internet:<http://www.akademiajezdziecka.za.pl>,<http://kochamkonie.pl>,  
<http://www.szkolnictwo.pl/index.php?id=PU0828>

## BIOMECHANICAL ANALYSIS OF LOADS IN THE LOWER LIMB WHILE HORSE RIDING

Abstract. In this publication we would like to analyse how length of the stirrups effects on loads in the lower limb. The longer stirrups are the bigger knee and ankle angles are. In horse riding there are some kinds of rider's positions, which are connected with discipline. Dressage rider's seat is different than jumping or race seat, so we would like to analyse these differences. For example the long stirrups of the dressage rider allow for a long leg. But the short stirrups of a jockey allow the rider to stay over the galloping horse's center of balance and allow the horse to reach the maximum possible speed.