

# Biomehanička analiza lokomotornog sustava psa

---

**Adamić, Fran**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Veterinary Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:178:304356>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-09**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Veterinary Medicine -  
Repository of PHD, master's thesis](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**VETERINARSKI FAKULTET**

**Fran Adamić**

**Biomehanička analiza lokomotornog sustava psa**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2018.**

Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zavod za rendgenologiju, ultrazvučnu dijagnostiku i fizikalnu terapiju

Predstojnik: Prof. dr. sc. Damir Stanin

Mentor: Doc. dr. sc. Zoran Vrbanac

Članovi povjerenstva za obranu diplomskog rada :

1. Prof. dr. sc. Damir Stanin
2. Doc. dr. sc. Nika Brkljača Bottegaro
3. Doc. dr. sc. Zoran Vrbanac
4. Dr. sc. Andrija Musulin (zamjena)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Građa mišićnog vlakno. Izvor:

<https://www.prehabexercises.com/soft-tissue-therapy/>

Slika 2. A: limitirana fleksija bočnog zgloba, B: maksimalizirana fleksija bočnog zgloba fleksijom koljena. Izvor:

Vet Clin Small Anim 35 (2005), Biomechanics of Rehabilitation, str. 1276., J. P. Weigel i suradnici.

Slika 3. Faze koraka. Izvor:

<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html>

Slika 4. Primjer umjerenog hoda. Izvor:

<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/walk.html>

Slika 5. Primjer kasa. Izvor:

<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/trot.html>

Slika 6. Primjer brzog hoda. Izvor:

<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/pace.html>

Slika 7. Primjer laganog galopa. Izvor:

<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/canter.html>

Slika 8. Primjer transverzalnog galopa. Izvor:

<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/transGallop.html>

Slika 9. Primjer rotacijskog galopa. Izvor:

<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/rotGallop.html>

Slika 10. Vertikalna sila reakcije podloge na Fz pravcu, kranio-kaudalna sila na Fy pravcu i medio lateralna sila na Fx pravcu. Izvor:

Veterinary Surgery: Small Animals, K. Tobias i S. Johnston, 2012., str. 1191.

Slika 11. Grafički prikaz sila reakcije podloge prilikom hoda s 4 ponavljanja. (A) prednji ud i (B) stražnji ud. Crvena strelica označava vertikalnu silu (Z), plava strelica silu kočenja kranio-kaudalne sile (Y), zelena strelica silu potiska (Y), ljubičasta strelica mediolateralnu silu,

maksimalna vertikalna sila je označena zvjezdicom, vertikalni impuls sile žutom mrežom, uspon i pad crnom isprekidanom linijom. Izvor:

Veterinary Surgery: Small Animals, K. Tobias i S. Johnston, 2012., str. 1191.

Slika 12. Grafički prikaz vertikalne sile reakcije podloge kod kasa. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 409.

Slika 13. Kamera koja detektira infracrveno svjetlo refletirano od markera na psu dok se kreće. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 412.

Slika 14. Pas pripremljen za snimanje s pričvršćenim reflektivnim markerima. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 412.

Slika 15. Kinematički graf koji prikazuje fiziološki raspon pokreta tarzusa kroz cjeli ciklus hoda. Kasna faza predvođenja, faza podupiranja i opet faza predvođenja. Strelice pokazuju maksimalnu ekstenziju i fleksiju. Izvor:

Veterinary Surgery: Small Animals, K. Tobias i S. Johnston, 2012., str. 1194.

Slika 16. Prikaz križnih ligamenata. Izvor:

<https://www.petmd.com/dog/infographic/cranial-cruciate-ligament-in-dogs-medical-diagram>

Slika 17. Rendgenska slika displazije kuka. Izvor:

[http://www.staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page\\_id=41](http://www.staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page_id=41)

Slika 18. Raspon pokreta kuka i koljena na pokretnoj traci sa usponom i spustom od 5%. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 422.

Slika 19. Prikaz maksimalne vertikalne sile na prednjim i stražnjim ekstremitetima prilikom hoda, kasa, vježbe tačke i plesanja unaprijed. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 421.

Slika 20. Prikaz raspona pokreta zglobova prednje i stražnje noge prilikom hoda i kasa iz dvije različite studije. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 421.

Slika 21. Raspon pokreta tijekom kasa, penjanja i silaženje niz stepenice i hodanja uzbrdo i nizbrdo. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 423.

Slika 22. Vježba plesanja. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 424.

Slika 23. Vježba vožnje tačka. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 424.

Slika 24. Prikaz raspona pokreta kod različitih visina cavaletti prečki. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 425.

Slika 25. Prikaz raspona pokreta kod sjedanja i ustajanja. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 425.

Slika 26. Pas na podvodnoj pokretnoj traci. Izvor:

Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 532.

# SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. BIOMEHANIKA LOKOMOTORNOG SUSTAVA PSA	3
2.1. BIOMEHANIKA ZGLOBOVA	3
2.2. BIOMEHANIKA SKELETNIH MIŠIĆA	4
3. BIOMEHANIKA KRETANJA	6
3.1. Kretanje psa	6
3.1.1. Umjeren hod	7
3.1.2. Kas	8
3.1.3. Brzi hod	8
3.1.4. Lagani galop	9
3.1.5. Galop	9
4. KINETIČKA I KINEMATIČKA ANALIZA KRETANJA	11
5. BIOMEHANIČKE PROMIJENE KOD POJEDINIH PATOLOŠKIH STANJA	16
5.1. Ruptura kranijalnog križnog ligamenta	16
5.2. Displazija kuka	17
5.3. Artritis lakatnog zgloba	18
6. TERAPEUTSKE VJEŽBE	19
6.1. Modifikacija terapijskih vježbi	19
6.2. Biomehanika pojedinih terapijskih vježbi	20
6.2.1. Hodanje	20
6.2.2. Kas	20
6.2.3. Hodanje uzbrdo, nizbrdo, niz stepenice i uz stepenice	21
6.2.4. Vježba plesanja	22
6.2.5. „Vožnja tačka“	23

6.2.6. Cavaletti tračnice	24
6.2.7. Sjedenje i ustajanje	25
6.2.8. Hidroterapija	25
6.2.9. Raspon pokreta	26
7. ZAKLJUČAK	27
8. POPIS LITERATURE	28
9. SAŽETAK	29
10. SUMMARY	30
11. ŽIVOTOPIS	31



## 1. UVOD

Napretkom veterinarske medicine pokazala se potreba za boljim razumijevanjem funkcije i rada lokomotornog sustava te objektivnije dijagnostike raznih patoloških stanja. Biomehankom uspijevamo dobiti egzaktne rezultate na temelju kojih možemo ustanoviti razna odstupanja od fizioloških kretnji lokomotornog sustava i uspješnije odrediti i prilagoditi terapiju prema potrebama pacijenta.

Biomehanika je znanstvena disciplina koja primjenjuje zakone fizike i mehanike prilikom otkrivanja i rješavanja bioloških problema, te proučava mehanička svojstva bioloških organizama, sustava, organa ili tkiva te kretanje cijelog organizma ili samo njegovih dijelova (Nikolić i sur., 2011.). Postoji više definicija biomehanike no svi autori je slično opisuju. Opisuju je kao interdisciplinarnu, multidisciplinarnu, egzaktnu znanost koja koristi zakonitosti fizike i mehanike, te znanstvene metode u proučavanju živih bića.

Kod biomehantičke analize lokomotornog sustava fokusirat ćemo se na biomehanku krutih tijela koja obuhvaća područje mišićno-koštanog sustava, statiku koja proučava tijela u mirovanju, dinamiku koja proučava gibanje pod djelovanjem sile i kinematiku koja opisuje pokret ignorirajući što je uzrokovalo taj pokret. Dodatno nam pomaže i kod odabira terapije, procjene rezultata terapije, oporavka ili progresije bolesti, subkliničkih promjena, opsega kretanja zgloba, procjenu djelovanja patološkog procesa s jednog mjesta na druga područja te nam Jednako tako pomaže i kod optimalizacije performansa i u preventivnim mjerama (Prankel i sur., 2016.).

Mehanika je znanost o ravnoteži sila (statika) i gibanju tijela (dinamika i kinematika) (Nikolić i sur., 2011.). Sastavni je dio biomehanike i proučava pojavu gibanja te sila koje djeluju na to gibanje. Opisuje kako masa i sila međusobno djeluju u trodimenzionalnom prostoru i vremenu na površini zemlje (Millis i Levine, 2014.).

Newtonova mehanika zasnovana je na tri zakona gibanja, a biomehanika je primjenjuje na živom organizmu. Zakon statike – kada je zbroj sila koje djeluju na tijelo nula, tijelo je u mirovanju (ne mijenja smjer niti brzinu). Zakon dinamike – kada zbroj sila koje djeluju na tijelo nije jednak nuli, tijelo mijenja smjer ili brzinu. Zakon akcije i reakcije – kada dva ili više tijela međusobno djeluju, sila proizvedena tom interakcijom je jednaka snagom sili koju je prouzročila ta interakcija te djeluje u suprotnom smjeru.

Sila je interakcija između dva predmeta, u našem slučaju npr. šape i podloge, zbog koje dolazi do promjene gibanja. Drugi Newtonow zakon ( $\text{sila} = \text{masa} \times \text{akceleracija}$ ) povezuje kinetičku silu i kinematičko gibanje.

Kinematika opisuje gibanje iz perspektive položaja i vremena, a proučava položaj, brzinu, ubrzanje, kutnu rotaciju zglobova. Kinematička analiza vrlo je korisna kod procjene hromosti i simetrije hoda, a postiže se dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim snimanjem kretanja i mjerenjem pomaka, zglobnih kuteva, brzine i ubrzanja.

Kinetika proučava gibanje preko linearnih sila i kutnog momenta sile (Prankel i sur., 2016.), mjerimo je pomoću ploča za mjerenje sile reakcije podloge i podloga za mjerenje pritiska koje se temelje na trećem Newtonovom zakonu. Kinetičkom analizom fokusiramo se na vertikalnu i horizontalnu silu koja nastaje prilikom oslanjanja noge na tlo, stopu opterećenja i raspodjelu sila (Prankel i sur., 2016.). Navedeni parametri nam mogu biti indikatori hromosti, odnosno stupnja opterećenja pojedinog ekstremiteta pri stajanju i različitim fazama kretanja.

## 2. BIOMEHANIKA LOKOMOTORNOG SUSTAVA PSA

Osnovna funkcija lokomotornog sustava je da omogući kretanje te daje mehaničku potporu organizmu. Lokomotorni sustav je optimalno dimenzioniran sa minimalno ugrađenog materijala, a maksimalno prilagođen svojoj funkciji - „minimum-maksimum zakon“ (Nikolić i sur., 2011.).

Skelet prsnog uda se sastoji od prsnog pojasa i kosti prsnog uda, a zdjeličnog uda od zdjeličnog pojasa i kosti zdjeličnog uda.

Mišići prsnog uda su građom i funkcijom prilagođeni kako bi nosili težinu tijela. Između glave, vrata i prsnog uda nalazimo jake ligamente i mišiće koji drže glavu u položaju jer zbog težine glave i gravitacije vrat ima jaku pasivnu fleksiju. Velike mišićne mase su aduktori ramena i ekstenzori lakta koji su glavni u nošenju težine tijela kod pasa.

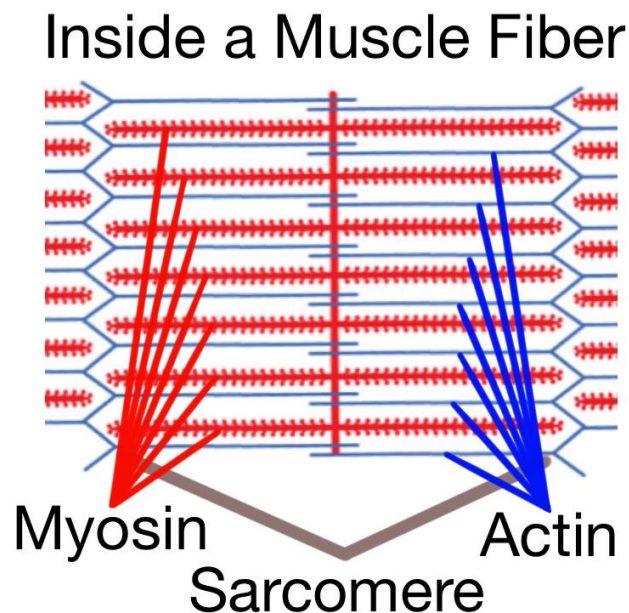
Stav u kojem pas stoji zahtijeva jake ekstenzore bočnog zgloba i koljena. Dok prednji udovi nose većinu statične težine, stražnji su odgovorni za potisak prilikom trčanja. Za to su odgovorni *m. semimembranosus*, *m. semitendinosus* i *m. biceps femoris*, a funkcija im je da prilikom faze podupiranja vrše ekstenziju bočnog zgloba i fleksiju koljena u fazi predvođenja. *M. gluteus medius* i aduktori su veliki i čvrsti mišići dok je površinski gluteus mali i smješten više lateralno na bočnom zglobu. Velika mišićna masa zdjeličnog uda je i *m. quadriceps femoris* kojem je glavna uloga ekstenzija koljena.

### 2.1. Biomehanika zglobova

Dok sila kontrakcije mišića djelovanjem na cjevastu kost uzrokuje gibanje određenog zgloba, oblik zglobne površine određuje moguće pokrete zgloba kao što su ekstenzija, fleksija, abdukcija, adukcija i rotacija. Meko tkivo može smanjiti ili onemogućiti pokrete koji bi bili mogući na temelju same geometrije zglobne površine. Poznavajući moguće pokrete zgloba terapeut može odrediti one koji nisu fiziološki (Goff i Stubbs 2007). Pokreti unutar zgloba imenuju se po pokretu distalne kosti povezane s proksimalnom, a to su klizanje, valjanje, rotacija, odmicanje i primicanje (Weigel i sur., 2005.). Klizanje je kretanje jedne zglobne površine po suprotnoj zglobnoj površini, na klizanje utječe geometrija zgloba, meka tkiva i vanjske sile. Valjanje opisuje valjanje jedne kosti po drugoj. Prilikom rotacije, zglobne površine su u neprekidnom dodiru na jednoj stalnoj točki. Odmicanje je kada se zglobne površine razdvajaju, a primicanje se može opisati kao sabijanje dvaju zglobnih površina jedna u drugu. Zglobovi kao što su lakat koji imaju jednu konkavnu i jednu konveksnu zglobnu površinu, uglavnom imaju pokrete klizanja i valjanja. Prilikom pokreta zgloba mijenja se intraartikularni tlak koji je kod fleksije veći, a kod ekstenzije manji.

## 2.2. Biomehanika skeletnih mišića

Mišići su odgovorni za proizvodnju sile koja uzrokuje gibanje. Mišićna vlakna su sastavljena od miofibrila. Sarkomere su kontraktilne jedinice koje se nalaze u miofibrilima. U sarkomeri se nalaze mikrofilamenti miozin i aktin koji su odgovorni za kontrakciju (slika 1). Mišić postiže maksimalnu kontrakciju kada je srednje duljine jer tada ima najviše preklapanja miozinskih i aktinskih mikrofilamenata.

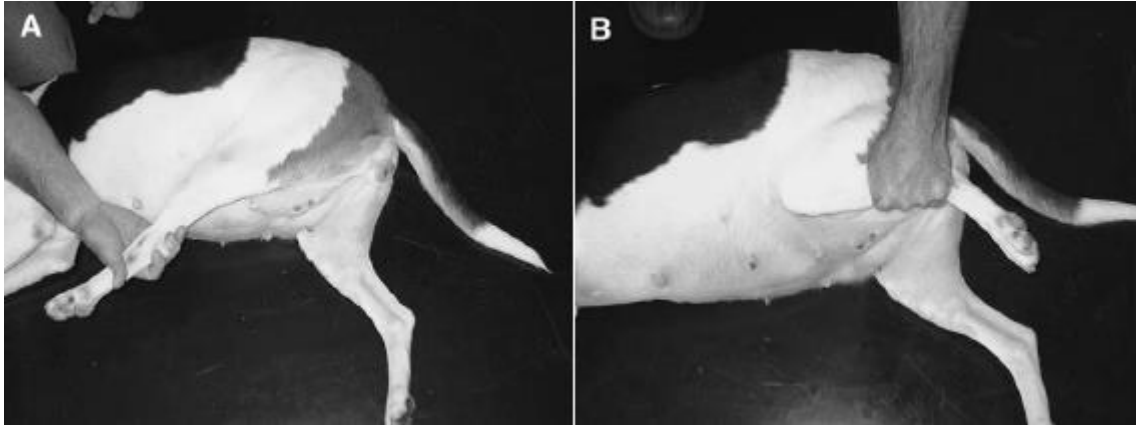


Slika 1. Građa mišićnog vlakna. Izvor: <https://www.prehabexercises.com/soft-tissue-therapy/>

Kontrakcija nastaje nakon što motorni neuroni stimuliraju svoju grupu mišića. Vrijeme potrebno za kontrakciju i relaksaciju ovisi o živcu i tipu mišićnog vlakna. Ako živac uputi više akcija prije nego je trzaj mišića završen, radnje se nadodaju na početni trzaj, a ako se frekvencija stimulacije dovoljno poveća dolazi do glatke kontrakcije.

Tipovi kontrakcije mogu se klasificirati prema odnosu između sile proizvedene kontrakcijom i reaktivne sile. Dva glavna tipa mišićne kontrakcije su izometrična i izotonična. Izometrična kontrakcija (kada mišić ne mijenja duljinu prilikom kontrakcije) javlja se kada se mišić kontrahira kako bi održao zglob u položaju. Izotonična kontrakcija je ona kod koje se mišić može skratiti jer je reaktivna sila manja od maksimalne sile kontrakcije (koncentrična kontrakcija) ili produljiti prilikom reaktivne sile veće od sile koju mišić može proizvesti (ekscentrična kontrakcija) (Weigel i sur., 2005). Kod ekscentrične kontrakcije može doći do ozljeda mišića, ali mišići u interakciji s tetivama djeluju poput opruge te se time sprječava njihovo prekomjerno rastezanje i moguće oštećenje (Millis i Levine, 2014.). Fiziološki, kretanje se sastoji od kombinacije koncentričnih, ekscentričnih i izometričnih kontrakcija.

Mišići imaju pasivnu i aktivnu napetost. Aktivna napetost se odvija kroz izometričnu kontrakciju mišića dok se pasivna napetost mišića javlja dok je mišić neaktivan. Pasivna napetost maksimalna je s produljivanjem mišića dok je gotovo nema kada je mišić srednje duljine tako da pasivna napetost mišića ima ulogu u proizvodnji reaktivne sile kada je mišić neaktivan. Posljedica pasivne napetosti je izraženija kod mišića koji prelaze dva zgloba (npr. fleksija bočnog zgloba je limitirana ako je koljeno u ekstenziji zbog pasivne napetosti *m. biceps femoris* i *m. semitendinosus*) što je bitno znati kod pasivnih vježbi, goniometrije i ortopedskih pregleda (slika 2) (Weigel i sur., 2005.).



Slika 2. A: limitirana fleksija bočnog zgloba, B: maksimalizirana fleksija bočnog zgloba fleksijom koljena. Izvor: Vet Clin Small Anim 35 (2005), Biomechanics of Rehabilitation, str. 1276., J. P. Weigel i suradnici.

Silu koju mišić stvori prenosi preko tetiva na kosti. Maksimalna snaga zgloba je najčešće kod fleksije pod 90 stupnjeva. Razumijevanjem principa stvaranja sile od strane mišića pomaže nam pri odabiru terapije i maksimalizira učinkovitost vježbi.

### 3. BIOMEHANIKA KRETANJA

Glavna uloga prsnog uda je podupiranje težine tijela. Lopatica je na trup priključena sa sinsarkozom sačinjene od mišića i tetiva (Matešić, 2009.). Takav spoj trupa s prsnim udom omogućuje slobodno pomicanje prsnog koša dorzo-ventralno između lopatica čime se ublažava djelovanje gravitacijske sile na prednje udove prilikom kretanja. Primarna uloga zdjeličnog uda je stvaranje potiska. Čvrsta veza sarkoilijačnog zgloba, zdjelični ud odgovoran za pokretanje prema naprijed i bolje razvijeno mišićje nego kod prsnog uda osigurava učinkovit prijenos potiska sa zdjeličnog uda na trup (Matešić, 2009.). Lokomotorni sustav psa dizajniran je za kretanje naprijed te ima poteškoća s kretanjem u nazad. Centar mase se nalazi kaudalno odmah iza prsnih udova, u visini lopatica. Tijekom kretanja pas mijenja centar mase longitudinalno i lateralno pomicanjem glave i repa. Početak kretanja unaprijed najčešće je započeto sa stražnjom nogom koja mijenja centar mase na kontralateralnu prednju nogu koju zamahuje prema naprijed kako bi poduprijela centar mase

Kod umjerenog hoda centar mase se prebacuje s jedne strane na drugu dok se glava i rep ritmički pomiču kako bi održali ravnotežu ([vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html](http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html)). Kod većih brzina zbog inercije dolazi do manjih oscilacija u promjeni centra mase. Stražnje noge su dulje i pomiču centar mase prema naprijed i gore. Pomicanje centra mase prema gore je bitno kako bi se produljilo kretanje naprijed koje je limitirano zbog gravitacijske sile koja ga povlači prema dole. Prednje noge su kraće i ravnije te osiguravaju stabilnost i potiskivanje prema gore.

Prilikom kretanja pas svaku nogu zamahuje prema naprijed te je povlači na tlo. U trenutku kada se šapa sretne s tlom, brzina zamaha noge trebala bi biti jednaka brzini kretanja životinje tako da se šapa sudara s tlom pri 0 km/h s čime se minimalizira mogućnost traume ([vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html](http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html)).

#### 3.1. Kretanje psa

Kretanje nastaje kao rezultat koordiniranih pokreta pojedinih dijelova tijela, a to može biti kretanje životinje naprijed, u stranu, u natrag ili kretanje bez promjene mjesta kao što su sjedanje, lijeganje, valjanje, ustajanje (Matešić, 2009.) Prilikom kretanja udovi se pomiču u ponovljivom i pravilnom slijedu, što je rezultat cikličke aktivacije funkcionalnih skupina mišića (Matešić, 2009). Kod pasa postoji više različitih tipova kretanja. Tipovi kretanja kod psa su umjeren hod, kas, brzi hod, lagani galop i galop.

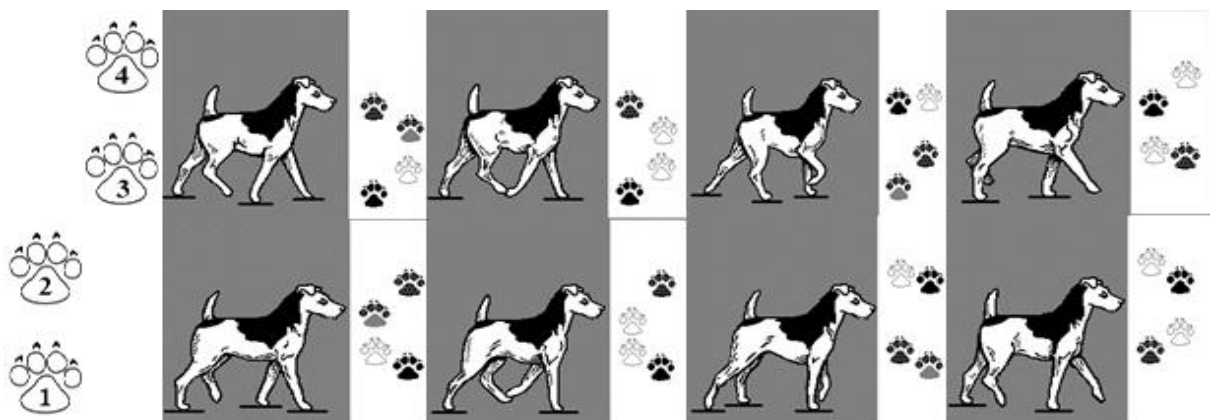
Korak se sastoji od dvije faze: podupiranje i predvođenje. Podupiranje dalje možemo podijeliti na oslanjanje i odgurivanje, a predvođenje na podizanje i zamah (slika 3).



Slika 3. Faze koraka. Izvor: <http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html>

### 3.1.1. Umjeren hod

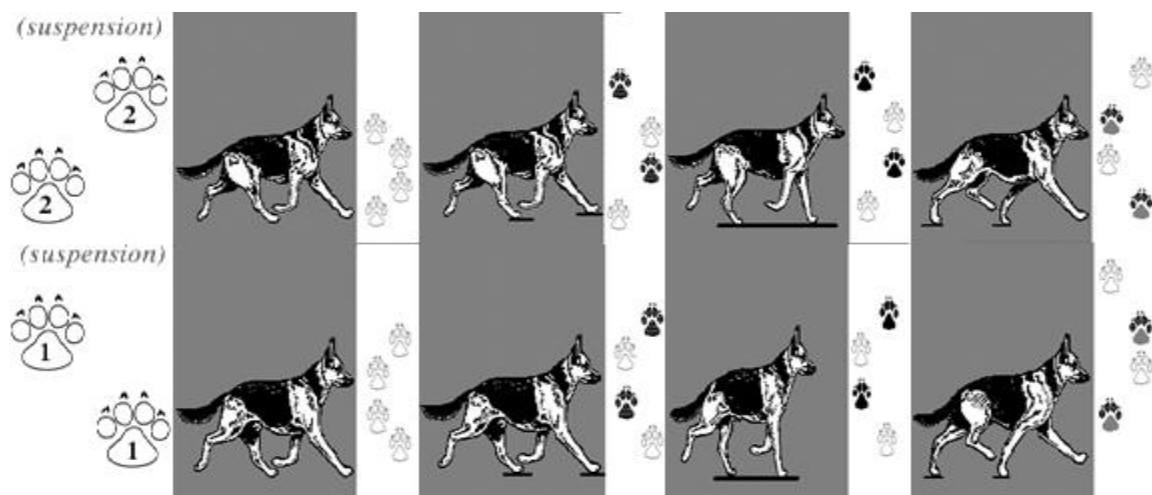
Umjeren hod je četverotaktno kretanje u kojem svaka noga uzastopno radi korak. Imamo osam kombinacija podupiranja: 4 kombinacije s 3 noge u podupiranju i 4 kombinacije s 2 noge u podupiranju ( lijevo/desno lateralno i lijevo/desno dijagonalno) (slika 4) (<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/walk.html>). Svaka noga vremenski nadmašuje u podupiranju nogu u predvođenju. Tijekom faze predvođenja prednjih nogu glava i vrat su spuštene, a podignuti u fazi podupiranja. Tijelo se zanosi lateralno i vertikalno dok se glava i rep zanose prema strani koja je u podupiranju. Duljina koraka je otprilike takva da zadnja šapa zauzima mjesto prednje šape iste strane.



Slika 4. Primjer umjerenog hoda. Izvor: <http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/walk.html>

### 3.1.2. Kas

Kas je dvotaktno kretanje. Desna i lijeva dijagonala se izmjenjuju u podupiranju, znači desna prednja noga i zadnja lijeva noga se pokreću zajedno (slike 5). Stražnja noga dolazi u kontakt s tlom nešto ranije od prednje i proizvodi kretanje u naprijed i prema gore. Glava i vrat su fiksirani uspravno dok se tijelo kreće samo vertikalno. U brzom kasu korak je produljen te zadnja šapa može pogađati prednju ipsilateralnu šapu (<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/trot.html>). Kako bi se to izbjeglo, prednja šapa se mora podići prije dolaska zadnje ili zadnja mora padati pored prednje ili se pas kreće „poput raka“ (tijelo mu je pod kutem naspram smjera kretanja).

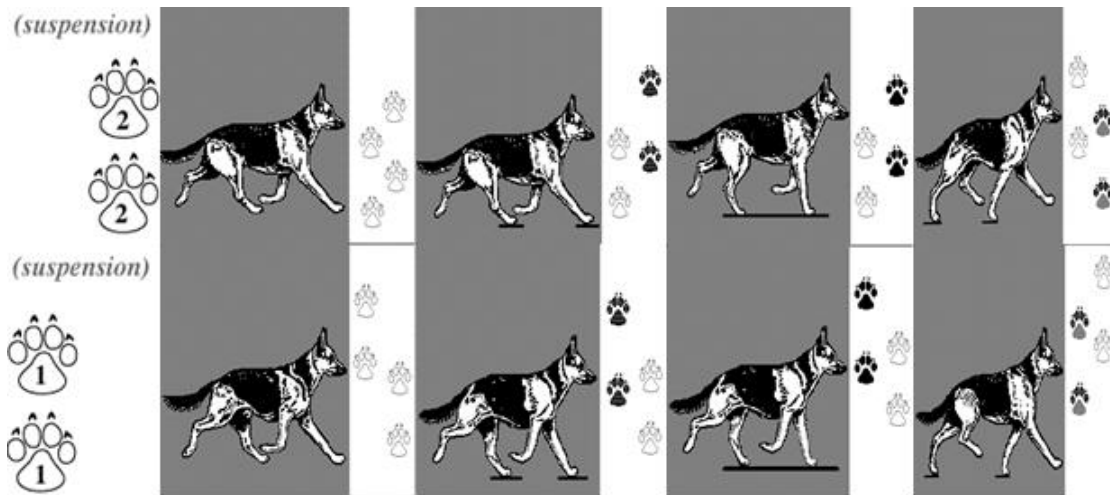


Slika 5. Primjer kasa. Izvor: <http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/trot.html>

### 3.1.3. Brzi hod

Brzi hod je dvotaktno kretanje. Dvije ipsilateralne noge se koriste u isto vrijeme (slika 6). Trup oscilira lateralno kako se izmjenjuju lijeve i desne noge te se održava ravnoteža. Brzi hod zahtjeva manje mišićnog napora nego kas dok je kas ipak stabilniji. Psi se najčešće radije kreću brzim hodom nego kasom kad su pretili ili izvan kondicije. Štenci također češće koriste brzi hod dok im se mišići ne razviju do kraja.

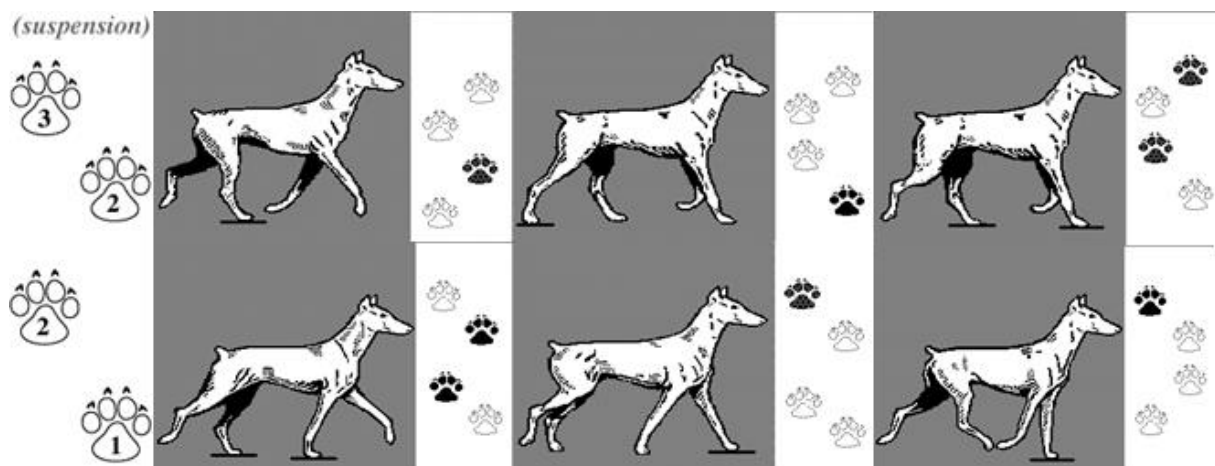




Slika 6. Primjer brzog hoda. Izvor: <http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/pace.html>

### 3.1.4. Lagani galop

Lagani galop je trotaktno kretanje. Redoslijed nogu pri dodiru s tlom je 1-2-1: zadnja noga, zatim dijagonalno zadnja i prednja te prednja i stanka kod veće brzine (slika 7). Stanka je razdoblje kad su sve noge u zraku. Lagani galop je asimetrično kretanje, to jest slijed nogu je drugačiji s lijeve i desne strane. Postoji desni i lijevi lagani galop, ovisno koja prednja noga vodi (noga koja nije u dijagonali). Vodeća noga nosi težinu dulje nego druga prednja noga. Prilikom kretanja ravnom stazom, pas će mijenjati vodeću nogu ovisno o skretanju.

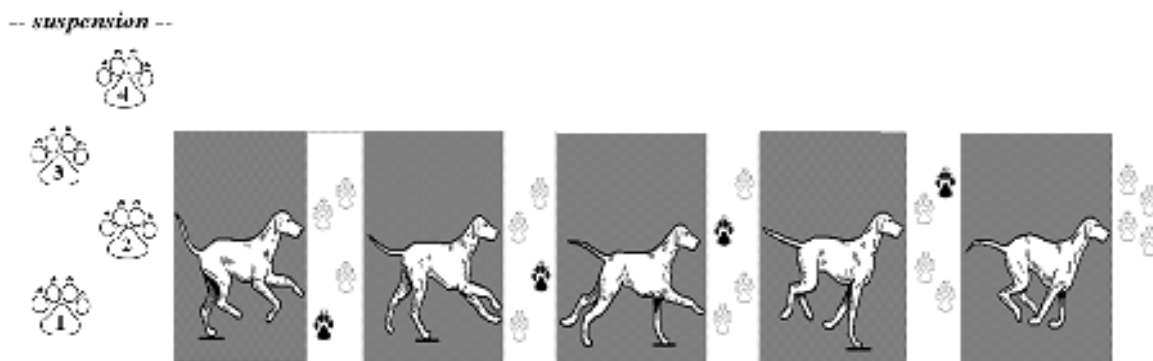


Slika 7. Primjer laganog galopa. Izvor: <http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/canter.html>

### 3.1.5. Galop

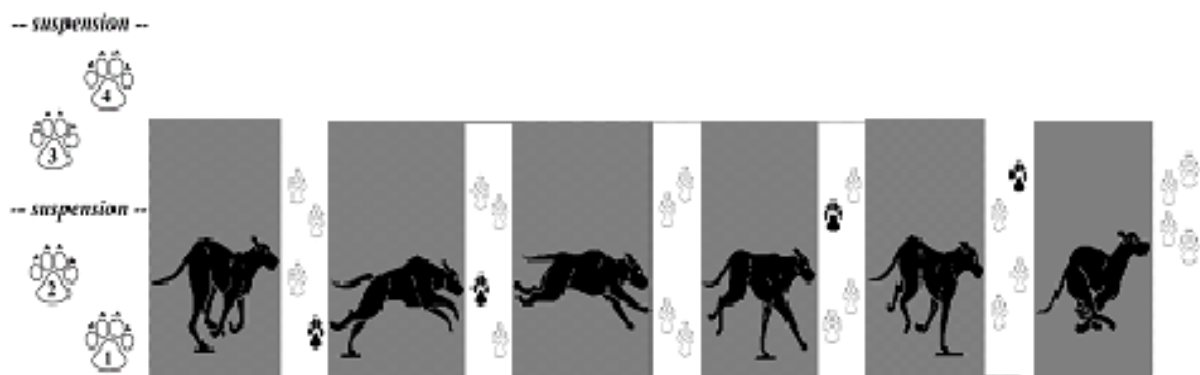
Galop je tip kretanja koji se koristi za brzinu te je i najiscrpljujući. Psi koriste transversalni galop i rotacijski galop, koji je njihov najbrži tip kretanja.

Transverzalni galop je četverotaktno kretanje s jednom stankom. Izmjenjuju se lijeva/desna stražnja noga pa zatim lijeva/desna prednja noga (slika 8). Vodeća noga je ona koja je zadnja u podupiranju te ima dulji korak i dulje je u kontaktu s tlom. Sljedeći korak se započinje sa stražnjom nogom koja je dijagonalno od vodeće noge. Stražnje noge proizvode potisak prema naprijed i prema gore, noga koja druga dolazi na tlo proizvodi najviše sile dok noga koja prva nakon pauze dolazi na tlo je podložnija ozljedama jer trpi cijelu težinu tijela u padu (<http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/transGallop.html>).



Slika 8. Primjer transverzalnog galopa. Izvor: <http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/transGallop.html>

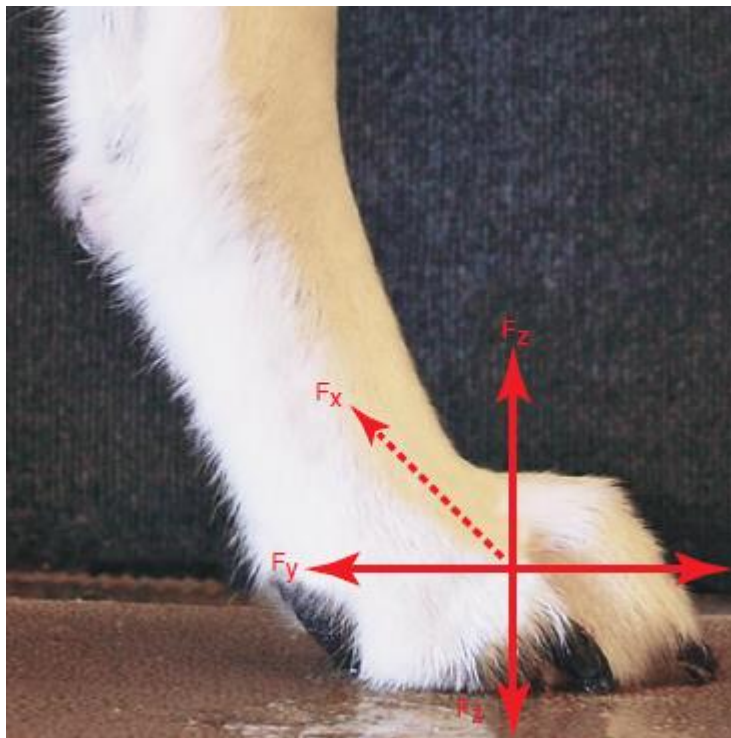
Rotacijski galop je isto četverotaktni tip kretanja, ali s duplom stankom. Slijed nogu koje dolaze u kontakt s tlom je desna stražnja, lijeva stražnja pa stanka i zatim lijeva prednja, desna prednja i opet stanka (slika 9). Rotacijski galop je najbrži tip kretanja ali jednako tako i najiscrpljujućiji. Fleksija trupa omogućuje da stražnje noge dosegnu što dalje naprijed te ekstenzija trupa omogućuje prednjim nogama da dosegnu dalje naprijed nego što bi to inače bilo moguće.



Slika 9. Primjer rotacijskog galopa. Izvor: <http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/rotGallop.html>

#### 4. KINETIČKA I KINEMATIČKA ANALIZA KRETANJA

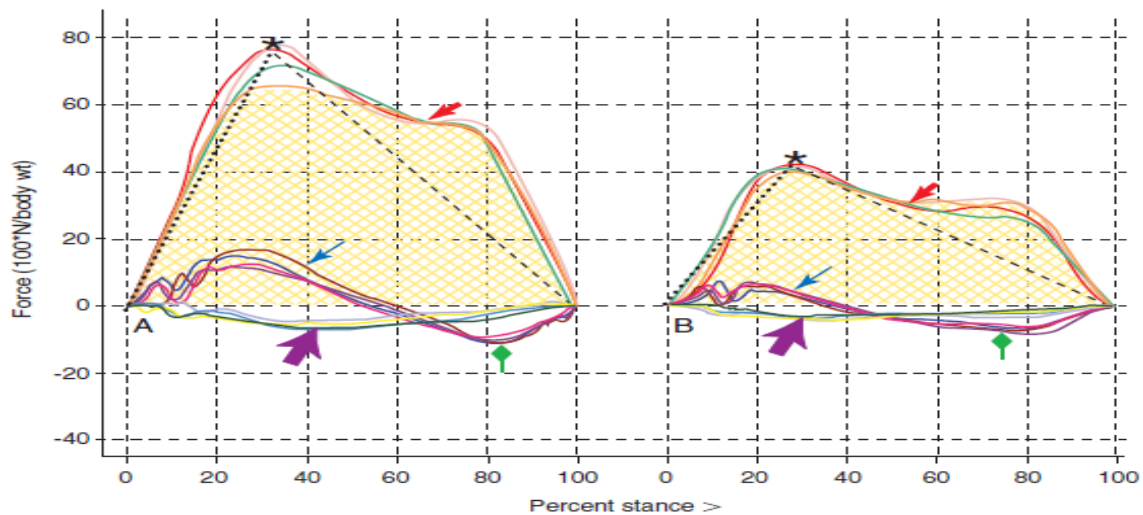
Različita bolna stanja kao što su trauma, osteoartritis i luksacija patele mogu biti uzrok hromosti. Hromost se često procjenjuje subjektivno no suptilna hromost predstavlja izazov za dijagnostiku (Weigel i sur., 2005.). Kod kinetičke procjene mjere se sile koje uzrokuju pokretanja tijela. Pomoću analize kretanja možemo odrediti koliko pojedini ud nosi težine kod zdravog psa te otkriti odstupanja što nam može pomoći u dijagnostici i odabiru terapije. Pri procjeni hromosti se uobičajeno koriste umjeren hod i kas zbog svoje simetrije i brzine. Pas prelazi preko ploče ili podloge koja mjeri sile reakcije podloge uzrokovane tjelesnom težinom za vrijeme kontakta noge s podlogom. Ploča za mjerenje sile je najčešće ugrađena u tlo i spojena na računalo koje prima podatke za analizu dok se psa vodi jednoličnom brzinom preko nje. Softver prikupljene podatke pretvara u graf sa silama reakcije podloge. Sile reakcije podloge podijelili smo na vertikalnu silu reakcije podloge, kranio-kaudalnu silu i mediolateralnu silu (slika 10).



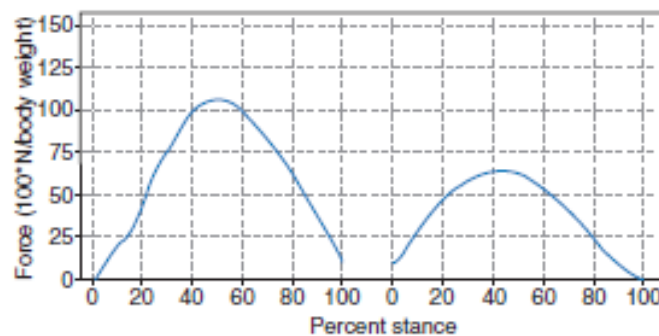
Slika 10. Vertikalna sila reakcije podloge na  $F_z$  pravcu, kranio-kaudalna sila na  $F_y$  pravcu i medio lateralna sila na  $F_x$  pravcu. Izvor: Veterinary Surgery: Small Animals, K. Tobias i S. Johnston, 2012., str. 1191.

Sile reakcije podloge uključuju i parametre kao što su maksimalna vertikalna sila, vertikalni impuls sile, uspon i pad, sila kočenja, impuls sile kočenja, sila potiska, impuls sile potiska (Tobias i Johnston, 2012.). Impuls sile je područje ispod krivulje sile. Hodanjem se stvara bifazična krivulja M oblika u kojoj prvi vrh predstavlja vertikalnu silu udarca šape u podlogu, zatim negativni otklon koji predstavlja zaustavljanje, a drugi vrh odgurivanje od

podloge (slika 11). Prednje noge imaju veću maksimalnu vertikalnu silu jer nose više težine tijela dok stražnje noge imaju veću silu potiska jer im je to glavna zadaća.



Slika 11. Grafički prikaz sila reakcije podloge prilikom hoda s 4 ponavljanja. (A) prednji ud i (B) stražnji ud. Crvena strelica označava vertikalnu silu (Z), plava strelica silu kočenja kranio-kaudalne sile (Y), zelena strelica silu potiska (Y), ljubičasta strelica mediolateralnu silu, maksimalna vertikalna sila je označena zvjezdicom, vertikalni impuls sile žutom mrežom, uspon i pad crnom isprekidanom linijom. Izvor: Veterinary Surgery: Small Animals, K. Tobias i S. Johnston, 2012., str. 1191.



Slika 12. Grafički prikaz vertikalne sile reakcije podloge kod kasa. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 409.

Kod kasa imamo krivulju s jednim vrhom jer se promjena tih faza odvija brže (slika 12). Vrijeme koje šapa provede u kontaktu s tlom ovisi o brzini kretanja (veća brzina, manje vrijeme kontakta).

Maksimum vertikalne sile i vertikalni impuls sile su bez sumnje mjere funkcije udova i koriste se kao zlatni standard za određivanja funkcionalnosti uda, te kao indirektno mjere za akutnu i kroničnu bol (Tobias i Johnston, 2012.).

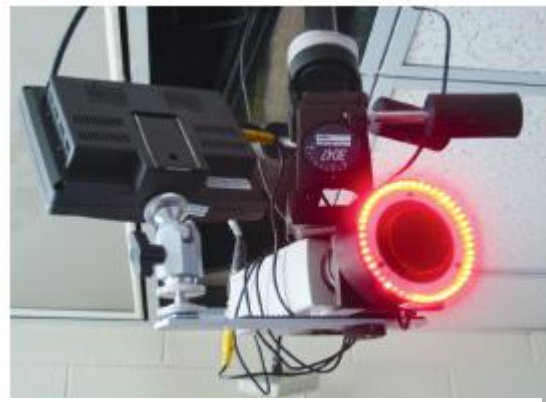
Maksimum vertikalne sile ovisi o brzini, ubrzanju, masi i građi psa. Centar mase psa je isto bitan kod raspodjele težine jer pas kod nekih patoloških stanja može mijenjati centar mase kako bi umanjio bol. Noga na koju pas hrama u pravilu je kraće u kontaktu s tlom

naspram zdrave, te je i maksimum vertikalne sile je manji jer se pas nastoji slabije oslanjati na bolnu nogu. Kretanjem uzbrdo centar mase se pomiče kaudalno te tako više težine pada na stražnje noge, dok kod kretanja nizbrdo centar mase se pomiče kranijalno i veći teret pada na prednje noge što možemo iskoristiti u sklopu fizikalnih vježbi (Millis i Levine 2014.).

Kinematičkom analizom promatramo karakteristike pokreta i kretanja iz perspektive prostora i vremena zanemarujući sile koje ih uzrokuju. To postizemo dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim snimanjem. Procjenjuju se pozicija, brzina i ubrzanje tijela, udova i zglobova (Weigel i sur., 2005.). Snima se kretanje na pokretnoj traci ili na tlu. Dvodimenzionalno je ekonomski pristupačnije ali i manje korisno od trodimenzionalnog. Kinematička procjena kretanja se izvodi pomoću više kamera koje snimaju iz različitih kuteva i pasivno reflektirajućih markera pozicioniranih na određenim anatomskim mjestima psa koje kamera detektira (slika 13 i 14) (Tobias i Johnston, 2012.). To su obično koštane izbočine i središta zglobova koje se koriste kao referentne točke. Postavljanje markera je jedna od stavki koja najviše pridonosi varijabilnosti prilikom prikupljanja kinematičkih podataka. Nakon postavljanja markera pokreti kože, tetiva i mišića mogu pomaknuti marker sa željenog



Slika 14. Pas pripremljen za snimanje s pričvršćenim reflektivnim markerima. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 412.

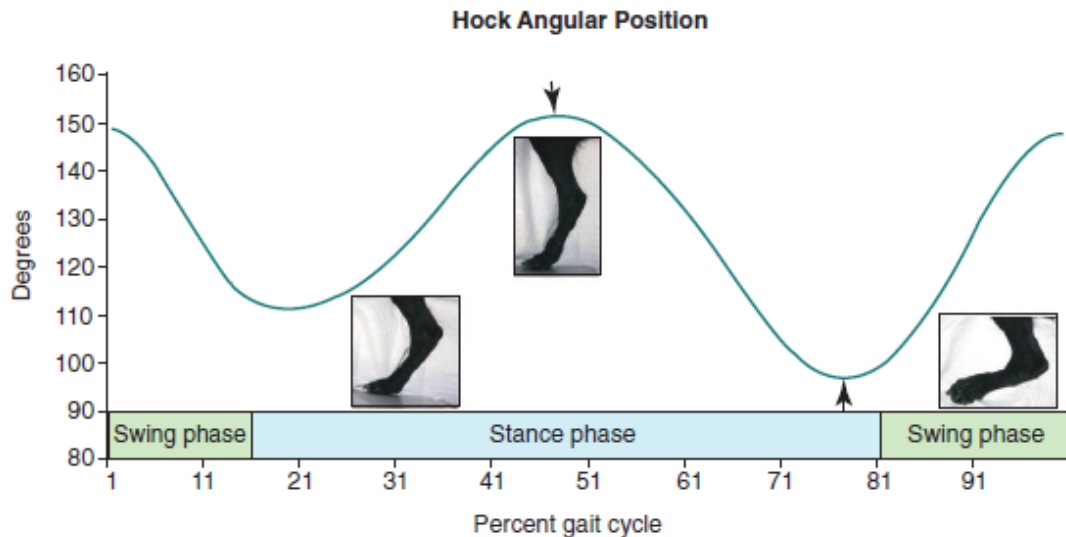


Slika 13. Kamera koja detektira infracrveno svjetlo reflektirano od markera na psu dok se kreće. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 412.

mjesta stoga je bitno uzeti tu stavku u obzir prilikom analize kinematičkih podataka. Koristi se i kalibracijski kadar kako bi prostorno podesili 3D snimku da bi imali točnost od barem 2mm. Visoko vrijedni laboratorij za analizu pokreta sastoji se od 8 zasebnih kamera sa sensorima za infracrveno svjetlo, 10 metara staze ili pokretne trake s ugrađenom platformom za mjerenje sile reakcije podloge kako bi mogli istovremeno prikupljati kinetičke podatke i trodimenzionalne snimke (Tobias i Johnston, 2012.).

Kinematički parametri su pomak, kutna brzina i raspon pokreta (Tobias i Johnston, 2012.). Mogu se snimati i prostorno-vremenski parametri kao što su brzina, faze koraka i





Slika 15. Kinematički graf koji prikazuje fiziološki raspon pokreta tarzusa kroz cjeli ciklus hoda. Kasna faza predvođenja, faza podupiranja i opet faza predvođenja. Strelice pokazuju maksimalnu ekstenziju i fleksiju. Izvor: Veterinary Surgery: Small Animals, K. Tobias i S. Johnston, 2012., str. 1194.

duljina koraka, ali se ti podaci mogu prikupiti i pomoću kinetičke analize što je ekonomski pristupačnije. Pomak je duljina za koju marker promijeni poziciju tijekom snimanja, a kutni pomak je promjena pozicije koja se odnosi na određen zglob. Kutna brzina nam govori kojom brzinom dolazi do pomaka. Tijekom kretanja mjere se zglobni kutevi i zabilježi se maksimalna fleksija i maksimalna ekstenzija te se iz tih parametara izračuna raspon pokreta (slika 15). Ti parametri su često promijenjeni kod ortopedskih i neuroloških bolesti stoga imaju veliku kliničku i dijagnostičku važnost.

Podaci prikupljeni kinetičkom i kinematičkom analizom mogu se uskladiti, ako su prikupljeni u isto vrijeme. Kada se matematički povežu, mogu se izračunati sile i moment sile za pojedini zglob što se još naziva inverzna dinamika (Millis i Levine, 2014.).

Kod zdravih pasa, u stojećem položaju, svaka prednja noga nosi oko 30% tjelesne mase dok stražnje noge nose oko 20% tjelesne mase svaka (Millis i Levine, 2014.). Omjer tjelesne mase koju pojedine noge nose prilikom umjerenog hoda i kasa su relativno stalne zbog simetričnosti kretanja. Zbog odnosa sile i ubrzanja koje se prenose na nogu prilikom faze podupiranja, dolazi do porasta apsolutne sile prilikom povećanja brzine kretanja (Weigel i sur., 2005.). Stoga pas može imati maksimalnu vertikalnu silu 55% i 40% prilikom hoda na pojedinoj prednjoj i stražnjoj nozi. Sila se može uvećati i do 100%, odnosno 125% na prednjim nogama i 70% i 85% na stražnjim udovima prilikom kasa od 1,5-3.0 m/s (Weigel i sur., 2005.).

Studije provedene na zdravim psima pokazuju da svaki zglob ima karakteristični i konstantan slijed fleksija i ekstenzija (Roxana i sur., 2007.). Kod kuka i karpalnog zgloba zabilježena je jedna maksimalna ekstenzija dok su kod koljenog, tarzalnog, ramenog i lakatnog zgloba zabilježene dvije maksimalne ekstenzije, jedna prije podupiranja i druga za vrijeme podupiranja. Pokret ramena, lakta i karpusa pri brzini od 4km/h su približno 30°, 60°,

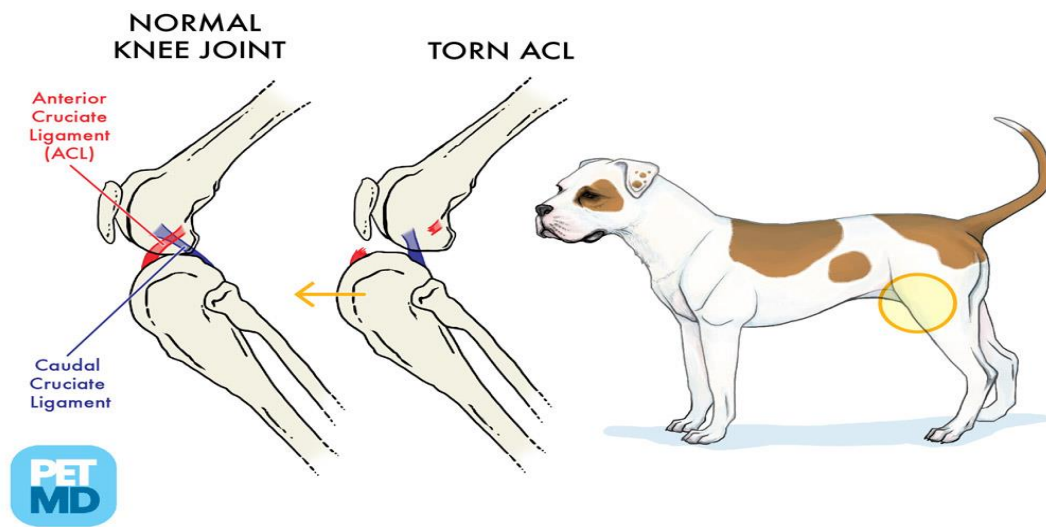
80° (Tian i sur., 2017.). Ubrzavanjem na 10km/h dolazi do odstupanja za približno 10° (Tian i sur., 2017.). Kod stražnjih nogu pokret kuka, koljena i tarzusa su približno 40°, 35°, 45° pri brzini od 4km/h dok su pri ubrzanju na 10km/h 55°, 50°, 90° (Tian i sur., 2017.).

Primijećene su neznatne razlike kod drugih pasmina pasa slične građe tako da možemo zaključiti da nam kinematička analiza daje pouzdan opis pokreta zgloba za pse slične građe. Kinematička analiza se ne koristi samo za procjenu hoda i kasa, koristi se i u analizi trčanja, plivanja i u radnji sjedanja i ustajanja. Međusobni odnos kinetike i kinematike još nije do kraja istražen, ali je moguće da će se pomoću tih analiza uskoro moći bolje procijeniti ortopedska i neurološka stanja koja utječu na način hodanja te poboljšati rezultate fizikalnih vježbi.

## 5. BIOMEHANIČKE PROMJENE KOD POJEDINIH PATOLOŠKIH STANJA

### 5.1. Ruptura kranijalnog križnog ligamenta

Jedan od najčešćih ortopedskih problema u pasa. Kod rupture dolazi do potpune ili parcijalne nestabilnosti koljena. Prilikom pokreta zgloba tibija se pomiče kranijalno te dolazi do oštećenja medijalnog meniskusa i posljedično artroze (slika 16).



Slika 16. Prikaz križnih ligamenata. Izvor: <https://www.petmd.com/dog/infographic/cranial-cruciate-ligament-in-dogs-medical-diagram>

Nakon ruptуре ligamenta, maksimalna vertikalna sila kod umjerenog hoda manja je i do 50% na oboljelom udru, a u kasu se često uopće ne oslanja na nju (Weigel i sur., 2005.). Posljedično tome se i povećava postotak tjelesne mase odnosno opterećenja koju nosi druga, zdrava noga. Promjene do kojih dolazi u koljenom zglobu su povećana fleksija prilikom podupiranja i smanjena ekstenzija prilikom odgurivanja dok se kod kuka i tarzalnog zgloba povećava ekstenzija (DeCamp, 1997.). Sedam mjeseci nakon operacije psi obično jednako opterećuju obje stražnje noge (Millis i Levine., 2014.). U studiji provedenoj na labrador retrieverima, snimana je sila reakcije podloge u fazi podupiranja zdravih labradora, labradora koji imaju rupturu prednjeg križnog ligamenta te onima koji su bili na operaciji prije 6 mjeseci (Evans i sur., 2005.). Dodatno je uspoređivana točnost vizualne procjene promjena u hodu s analizom kretanja pomoću podloga za mjerenje sile reakcije. Pomoću kombinacije maksimalne vertikalne sile i brzine kojom pas odtereuje ozlijeđenu nogu moguće je izdvojiti hrome od zdravih pasa. Psi s rupturom imali su ili manju maksimalnu vertikalnu silu ili su brže odteretili ozlijeđenu nogu. Od ukupnog broja istraživanih pasa, 75% onih koji nakon operacije koji nisu imali vidljivu hromost, analiza kretanja pokazala je drugačiju vrijednost maksimalne vertikalne sile u odnosu na zdrave labradore. Autor tvrdi da je ova metoda 98% točna te je osjetljivost veća nego kod vizualne procjene.



Inverzivnom dinamikom izmjereni su pokreti zgloba, snaga zgloba i sile reakcije zgloba na tarzalnog zglobu, koljenu i bočnom zglobu kod labrador retrievera s i bez rupture kranijalnog križnog ligamenta (Millis i Levine, 2014.). Sile kočenja i vertikalne sile reakcije podloge i reakcije zgloba bile su umanjene na ozlijeđenoj nozi. Omjer kočenja i potiska promijenjen je s 50%:50% kod zdrave noge, na 33%:66% kod ozlijeđene noge (Millis i Levine, 2014.). Ozlijeđena noga imala je manje vrijednosti ekstenzije bočnog i tarzalnog zgloba, a manju fleksiju koljenog zgloba dok je snaga u sva tri zgloba oslabljena.

## 5.2. Displazija kuka

Displazija kukova predstavlja abnormalan razvoj zgloba kuka, najčešće se javlja obostrano (slika 17). Dolazi do nestabilnosti bočnog zgloba u različitim stupnjevima, promjena na glavi bedrene kosti, zglobne čašice i na mekim tkivima ([http://www-staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page\\_id=41](http://www-staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page_id=41)). Hromost kod displazije kuka klinički se može očitovati kao lagana, gotovo neprimjetna do teških i jakih promjena u kretanju.



Slika 17. Rendgenska slika displazije kuka. Izvor: [http://www-staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page\\_id=41](http://www-staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page_id=41)

Kod pasa s displazijom kuka smanjena je maksimalna vertikalna sila reakcije podloge na stražnjim nogama, i smanjena je sila odgurivanja, odnosno potisak (DeCamp, 1997.). Dolazi do povećane ekstenzije kuka u fazi podupiranja i jače fleksije koljena, dok je i povećana duljina koraka i smanjen razmak između stražnjih nogu (DeCamp, 1997.). Svi zglobovi se flektiraju brže u ranoj fazi predvođenja (Millis i Levine, 2014.). Te promjene su uzrokovane boli i degenerativnim promjenama u bočnom zglobu. Zbog tih promjena još dolazi i do većih pomaka abdukcije i adukcije bočnog zgloba. Zahvati poput ugradnje

umjetnog kuka i trostruke osteotomije zdjelice dovode do poboljšanja u maksimalnoj vertikalnoj sili i potisku zahvaćene noge za 3 do 6 mjeseci (DeCamp, 1997.).

### **5.3. Artritis lakatnog zgloba**

U studiji provedenoj kako bi odredili redistribuciju težine sa zahvaćene noge na ostale ekstremitete, autori su prosuđivali silu reakcije podloge kod pasa s artritičnim promjenama lakta (Millis i Levine, 2014.). Psi s osteoartritisom su imali promjene u kretanju kako bi odteretili i smanjili stres na ozlijeđenoj nozi. Težina se prebacila na kontralateralnu prednju nogu i dijagonalnu stražnju nogu (Millis i Levine, 2014.). Moguće je da prilikom odterćenja zahvaćene noge dolazi do preopterećenja zdravih ekstremiteta i kralješnice.

## 6. TERAPEUTSKE VJEŽBE

Cilj terapijskih vježbi su jačanje aktivnih bezbolnih raspona pokreta, povećanje mišićne mase i snage mišića, tjelesno balansiranje, smanjenje tjelesne mase i šepavosti te mogućnosti aerobika kako bi se spriječile daljnje ozljede (Šehić, 2014.).

### 6.1. Modifikacija terapijskih vježbi

Spoznajom promjena u stavu i kretanju psa kod pojedinih patoloških stanja i postoperativnog razdoblja moguće je modificirati terapijske vježbe kako postigli maksimalan učinak. Kod pacijenata sa smanjenom propriocepcijom možemo potaknuti propriocepciju kretanjem po raznim podlogama poput spužve, trampolina, podija za ravnotežu i sl., ako pacijent ima većih problema sa stabilnošću, možemo koristiti čvrste podloge poput poda. Povećavanjem težine koju noga nosi postizemo jačanje mišića, jednako tako ako povećamo krak sile, povećavamo i silu potrebnu za pokretanje noge. Ako je mišić slab, možemo postaviti elastičnu traku proksimalno na nogu te kako se mišić jača, pomičemo je distalno s čime povećavamo krak sile (Millis i Levine, 2014). U obzir treba uzet i brzinu izvođenja vježbe i položaj noge, pogotovo kad se radi o mišićima koji prelaze preko dva zgloba.

Zbog pasivne napetosti mišića tetive koljena (*semimebranosus*, *semitendinosus* i *biceps femoris*) jače flektiraju koljeno ako je i kuk u fleksiji, a fleksija kuka i tarzusa je ograničena ako je koljeno u ekstenziji. Prilikom izvođenja vježbi istezanja i vježbi pasivnih pokreta bitno je znati gore navedeno kao i položaj ruku fizioterapeuta s perspektive biomehanike. Ako je zglob nestabilan, položaj ruku treba biti bliže zglobu s čime je poluga manja pa tako i sila koja djeluje na sami zglob. Senzorna facilitacija ili inhibicija se može koristiti za modifikaciju odgovora mišića (Millis i Levine, 2014.). Kompresija zgloba može stimulirati receptore u zglobu i potaknuti aktivnost ekstenzora tog zgloba te s time povećati stabilnost zgloba. Korištenjem stlačive podloge ili lopte za vježbanje možemo postići ritmičnu stabilizaciju tako da stavimo psana podlogu te ga lagano i u ritmu pritišćemo, s čime stvaramo kompresiju i dekompresiju zgloba koje posljedično uzrokuje aktivaciju ekstenzornih mišića, povećanu stabilnost zgloba i povećava raspon pokreta.

## 6.2. Biomehanika pojedinih terapijskih vježbi

### 6.2.1. Hodanje

Hodanje je jedna od najjednostavnijih vježbi, ali i jako korisna u ranim fazama rehabilitacije koja potiče korištenje ekstremiteta. Tijekom hoda maksimalna vertikalna sila je 54% tjelesne težine na prednjim nogama i 40% na stražnjim (slika 19) (Millis i Levine, 2014.). Raspon pokreta ramena, lakta i karpusa su oko 30, 45 i 90 stupnjeva, a kuka, koljena i tarzusa su oko 35, 40 i 35 stupnjeva (slika 20) (Millis i Levine, 2014.). Razlika između hodanja po tlu i hodanja po pomičnoj traci je u tome što se produljuje vrijeme podupiranja i duljina koraka te je maksimalna brzina fleksije zglobova manja prilikom hodanja po pomičnoj traci (Weigel i sur., 2005.). Do sporijih pokreta zglobova dolazi vjerojatno jer pomična traka potpomaže pri kretanju. Povećavanjem nagiba pomične trake postizemo nešto veću ekstenziju kuka. Jedna studija je proučavala hod psa po pomičnoj traci sa spustom i usponom od 5% (slika 18). Duljina faza podupiranja i predvođenja nisu bile promijenjene ali se raspon pokreta kuka povećao i ekstenzija koljena smanjila.

**Table 24-4** Joint Motion while Walking on a Treadmill with an Incline at 5%, 0%, or -5%<sup>30</sup>

Joint	Joint Position	Decline	Level	Incline
Hip	Extension	120.9	120.8	121.8
	Flexion	95.8	95	94.5
	ROM	25.1	25.9	27.3
Stifle	Extension	146.2	144.9	143.1
	Flexion	93.7	93.4	91.6
	ROM	52.6	51.5	51.5

ROM, Range of motion.

Slika 18. Raspon pokreta kuka i koljena na pokretnoj traci sa usponom i spustom od 5%. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 422.

### 6.2.2. Kas

Kas se koristi kada želimo povećati brzinu kontrakcija mišića i silu koja djeluje na nogu. Tijekom kasa maksimalna vertikalna sila je otprilike 115% tjelesne težine na prednjim nogama i 66% na stražnjim (slika 19) (Millis i Levine, 2014.). Ubrzavajući iz hoda u kas dolazi do značajnijeg povećanja raspona pokreta karpalnog i tarzalnog zgloba (slika 20) (Millis i Levine, 2014.).

	Walking Forelimb	Walking Hindlimb	Trotting Forelimb	Trotting Hindlimb	Wheelbarrowing Forelimb	Dancing Forward Hindlimb
Peak vertical force	54%	40%	111%	66%	91%	76%
Vertical impulse	21%	15.2%	20%	12%	17%	16%

Values are a percent of body weight.

Slika 19. Prikaz maksimalne vertikalne sile na prednjim i stražnjim ekstremitetima prilikom hoda, kasa, vježbe tačke i plesanja unaprijed. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 421.

Joint	Position	Walk <sup>53</sup>	Walk <sup>14,19</sup>	Trot <sup>54</sup>	Trot <sup>17,18</sup>
Shoulder	Extension	148	146	138	137
	Flexion	120	121	119	107
	ROM	28	25	19	30
Elbow	Extension	144	143	140	140
	Flexion	94	97	94	88
	ROM	50	46	46	52
Carpus	Extension	192	65	199	80
	Flexion	99	-20	84	-20
	ROM	93	85	115	100
Hip	Extension	136, 140	132	142	132
	Flexion	103, 103	100	105	100
	ROM	33, 36	32	37	32
Stifle	Extension	154, 155	146	152	150
	Flexion	106, 109	111	88	97
	ROM	48, 51	35	63	53
Tarsus	Extension	162, 165	158	163	155
	Flexion	125, 123	128	97	120
	ROM	37, 42	30	67	35

ROM, Range of motion.

Slika 20. Prikaz raspona pokreta zglobova prednje i stražnje noge prilikom hoda i kasa iz dvije različite studije. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 421.

### 6.2.3. Hodanje uzbrdo, nizbrdo, niz stepenice i uz stepenice

Tijekom oporavka, kada pas može samostalno hodati, možemo uvesti hodaње uzbrdo i penjanje uz stepenice s čime povećavamo teret na stražnjim nogama i jačamo ekstenzore kuka i koljena. Hodanjem uzbrdo postićemo veći raspon pokreta na prednjim nogama nego kod penjanja uz stepenice ili kasom. Hodanjem uzbrdo raspon pokreta ramena bio je 66 stupnjeva, dok je tijekom penjanja stepenicama bio 20 stupnjeva (slika 21) (Millis i Levine, 2014).

Penjanjem uz stepenice postićemo veći raspon pokreta zglobova stražnjih nogu s povećanjem od 10, 20 i 40 stupnjeva za kuk, koljeno i tarsus (slika 21) (Millis i Levine, 2014.).

Povećava se ekstenzija kuka i tarzusa dok se ekstenzija koljena smanjuje. Fleksija koljena i tarzusa je uvećana zbog visine stepenice.

Kretanjem nizbrdo postizemo manju fleksiju kuka i koljena te manju fleksiju i ekstenziju tarzusa nego kod silaženja niz stepenice (slika 21) (Millis i Levine, 2014.).

Joint	Joint Position	Trotting	Stair Ascent	Ramp Ascent	Stair Descent	Ramp Descent
Shoulder	Extension	138	126	152		
	Flexion	119	106	85		
	ROM	19	20	66		
Elbow	Extension	140	149	157		
	Flexion	94	57	46		
	ROM	46	92	111		
Carpus	Extension	199	189	187		
	Flexion	84	68	36		
	ROM	115	121	151		
Hip	Extension	142	147		123	120
	Flexion	105	102		96	97
	ROM	37	45		27	23
Stifle	Extension	152	145		158	157
	Flexion	88	61		62	77
	ROM	63	83		96	80
Tarsus	Extension	163	171		159	152
	Flexion	97	61		61	77
	ROM	67	108		98	76

Slika 21. Raspon pokreta tijekom kasa, penjanja i silaženje niz stepenice i hodanja uzbrdo i nizbrdo.

Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 423.

Silaženjem niz stepenice postizemo veći raspon pokreta stražnjih nogu, veću fleksiju koljena i veću ekstenziju i fleksiju tarzusa nego prilikom hoda nizbrdo (Millis i Levine, 2014.).

#### 6.2.4. Vježba plesanja

Vježbom plesanja podižemo prednje nogu od tla dok hodamo sa psom naprijed i nazad. Težina psa se premješta na stražnje noge s čime se povećava opterećenje (slika 22). Povećava se maksimalna vertikalna sila i vertikalni impuls (slika 19) (Millis i Levine, 2014.). Prilikom plesanja manja je fleksija i raspon pokreta kuka i tarzusa te su duljina koraka i faza predvođenja skraćeni (Millis i Levine, 2014.). Plesanjem u nazad dolazi do povećanja ekstenzije kuka, koljena i skočnog zgloba. Takvo znanje nam je korisno prilikom odabira vježbe jer kod pasa koji osjećaju bol kod ekstenzije, koristit ćemo vježbu plesanja u naprijed umjesto u nazad. Vježbom plesanja dolazi do jačanja mišića, pospješuje se propriocepcija, koordinacija i ravnoteža (Šehić, 2014.).



Slika 22. Vježba plesanja. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 424.

### 6.2.5. „Vožnja tačka“

Vježba vožnje „tačka“ Izvodi se tako da psu pridržavamo stražnje noge u zraku dok se kreće samo po prednjim nogama čime povećavamo teret na prednjim nogama (slika 23). Kako pas radi korake da održi ravnotežu konstantno se mijenja brzina pokreta zgloba, a duljina koraka je smanjena. Dolazi do veće ekstenzije ramena i karpalnog zgloba te fleksije lakta nego kod hodanja (Millis i Levine, 2014.). Maksimalna vertikalna sila je do 91% tjelesne težine (slika 19).



Slika 23. Vježba „vožnje tačka“. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 424.

## 6.2.6. Cavaletti tračnice

Hodanje po cavaletti tračnicama je vježba kod koje se povećava se duljina korak, fleksija i raspona pokreta koljena, lakta i tarzusa (Millis i Levine, 2014.). Cavaletti tračnice su prečke koje postavimo iznad tla tako da pas korača preko njih. Visinom na koju postavimo tračnice možemo regulirati jačinu fleksije (slika 24).

		Walking	Low (at Carpus)	Medium	High (mid antebrachium)
Shoulder	Extension	149	152	153	153
	Flexion	115	125	124	124
	ROM	34	26	29	29
Elbow	Extension	147	145	142	143
	Flexion	89	72	60	59
	ROM	58	72	82	86
Carpus	Extension	182	187	187	187
	Flexion	81	86	79	81
	ROM	101	101	108	106
Hip	Extension	140	138	137	138
	Flexion	103	100	97	95
	ROM	36	38	40	43
Stifle	Extension	155	154	153	154
	Flexion	104	83	71	68
	ROM	51	71	82	86
Tarsus	Extension	165	153	154	155
	Flexion	123	84	71	68
	ROM	42	69	84	87

Slika 24. Prikaz raspona pokreta kod različitih visina cavaletti prečki. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 425.

Joint		Walk	Sit to Stand
Shoulder	Extension	125	119
	Flexion	88	91
	ROM	37	27
Elbow	Extension	146	147
	Flexion	91	109
	ROM	55	37
Carpus	Extension	239	202
	Flexion	128	133
	ROM	111	70
Hip	Extension	147	115
	Flexion	111	49
	ROM	36	66
Stifle	Extension	146	108
	Flexion	111	46
	ROM	35	62
Tarsus	Extension	145	131
	Flexion	111	95
	ROM	34	36

Slika 25. Prikaz raspona pokreta kod sjedanja i ustajanja. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 425.



### 6.2.7. Sjedenje i ustajanje

Vježbom sjedenja i ustajanja postizemo jačanje ekstenzornih mišića koljena i veće fleksije kuka, koljena i tarzusa dok je ekstenzija manja (slika 25).

### 6.2.8. Hidroterapija

Tu mislimo prvenstveno na imerzijsku hidroterapiju odnosno uranjanje tijela u vodu (slika 26). Imerzijska hidroterapija temelji se na sili uzgona. Sila uzgona djeluje u suprotnom smjeru od smjera djelovanja gravitacije tako da tijelo potopljeno u vodu ima prividno manju težinu s čime se smanjuje opterećenje na udovima. Veliko značenje ima površinska napetost, viskoznost i otpor vode zbog čega je kretanje u vodi teže te dolazi do ulaganja više energije u kretanje i posljedično jačanja mišića. Otpor vode je sila koja djeluje suprotno od brzine kretanja. Ovisi o gustoći vode, obliku i površini tijela. Stoga ako se brzina kretanja psa u vodi udvostruči, otpor vode će se učetverostručiti (Millis i Levine, 2014.). Zbog površinske napetosti kretanje uz površinu vode zahtjeva osam puta više energije kako bi se brzina udvostručila (Millis i Levine, 2014.). Psi koji stoje u vodi do tarzusa, koljena i kuka teže 91%, 85% i 38% svoje tjelesne težine što je posebno korisno kod pasa koji imaju poteškoća s nošenjem svoje težine ili imaju bolne i artritične zglobove (Millis i Levine, 2014.). Hidroterapija povoljno djeluje kod mnogih patoloških stanja, kao što su ruptura prednjeg križnog ligamenta, displazija kukova, tendinitisi i patologije neurološke prirode. Povoljno djeluje na kardiovaskularni sustav i poboljšanje funkcija. Kontraindicirana je kod pasa koji se boje vode, koji imaju otvorene rane kako ne bi došlo do infekcije.



Slika 26. Pas na podvodnoj pokretnoj traci. Izvor: Canine Rehabilitation and Physical Therapy, Darryl Millis i David Levine, 2014., str. 532.

### **6.2.9. Raspon pokreta**

Raspon pokreta je potpuno kretanje koje se može potaknuti pomicanjem zglobova (Šehić, 2014.). Svaki zglob ima svoje karakteristične kuteve kretanja kao što su fleksija i ekstenzija koljena ili fleksije, ekstenzije, adukcije, abdukcije i unutarnje i vanjske rotacije kuka. Raspon pokreta mjeri se goniometrom. Jednako tako i mišići imaju raspon pokreta, a to je razmak između maksimalnog skraćanja i izduženosti mišića i naziva se funkcionalna sposobnost mišića (Šehić, 2014.). Pokreti mogu biti pasivni, aktivni ili potpomognuti.

## 7. ZAKLJUČAK

Biomehanika se kroz proučavanje kinematike i kinetike na živom organizmu, u ovom slučaju psa, pokazala kao vrijedna metoda za bolje razumijevanje kretanja psa, otkrivanje promjena i patologija te pri odabiru i maksimaliziranju učinka terapije. Prilikom dijagnostičke procjene kretanja, hromosti i raznih promjena u lokomotornom sustavu često se koriste subjektivne metode dok nam biomehanička analiza omogućuje objektivnu procjenu pokreta i svih sila koje sudjeluju u kretanju te bolje razumijevanje složenog sustava kao što je lokomotorni sustav.

Biomehanika je relativno nova znanost u veterinarskoj medicini. S razvojem biomehanike javlja se sve šire polje gdje se biomehanika može upotrijebiti u praksi. Moje mišljenje je da su potrebe u veterinarskoj medicini za biomehanikom velike i da će se biomehanika kao znanost sve više koristiti u svakodnevnoj dijagnostici.

## 8. POPIS LITERATURE

1. DeCamp, C. E. (1997.): KINETIC AND KINEMATIC GAIT ANALYSIS AND THE ASSESSMENT OF LAMENESS IN THE DOG, Volume 27, NUMBER 4, str. 825-840.
2. Evans, R., C. Horstman, M. Conzemius (2005.): Accuracy and Optimization of Force Platform Gait Analysis in Labradors with Cranial Cruciate Disease Evaluated at a Walking Gait, *Veterinary Surgery*, 34:445-449.
3. Goff, L., N. Stubbs (2007.): Applied animal biomechanics, *Animal Physiotherapy: Assessment, treatment and Rehabilitation of animals*, Blackwell Publishing., str. 32-55.
4. Millis, D., D. Levine (2014.): *Canine Rehabilitation and Physical Therapy*, Saunders, an imprint of Elsevier Inc.
5. Matešić, K. (2009.): *Anatomija domaćih sisavaca*, Naklada Slap, Hrvatska.
6. Nikolić, V., M. Hudec, G. Hudec (2011.): *PRINCIPI BIOMEHANIKE*, Ljevak, Zagreb.
7. Prankel, S., M. Corbett, J. Bevins, J. Davies (2016.): Biomechanical analysis in veterinary practice, *In practice* 2016 38: str. 176.-187.
8. Roxana, D., C. Igna, M. Sabau, K. Menyhardt (2007.): KINEMATIC ANAMYSIS OF THE GAIT IN HEALTHY COMMON BREED DOGS, *Bulletin USAMV-CN*, 64/2007 (1-2).
9. Šehić, M. (2014.): *Fizikalna terapija i rehabilitacija psa*, Veterinarski fakultet, Zagreb.
10. Tian, W., Q. Zhang, Z. Yang, J. Wang, M. Li, Q. Cong (2017.): Research on the Locomotion of German Shepherds Dog at Different Speed and Slopes Springer International Publishing, Y. Huang et al. (Eds.): ICIRA 2017, Part I, LNAI 10462, pp. 63–70.
11. Tobias, K., S. Johnston (2012.): *Veterinary Surgery: Small Animal 1st Edition*, str. 1190.-1199., Saunders.
12. Weigel, J. P., G. Arnold, D. A. Hicks, D. L. Millis (2005.): Biomechanics of Rehabilitation, *vet clin small anim* 35, str. 1255.-1285.
13. Gait foot-fall patterns: [vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html](http://vanat.cvm.umn.edu/gaits/index.html)
14. Displazija kuka: [http://www-staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page\\_id=41](http://www-staro.vef.unizg.hr/org/kirurgija/?page_id=41)

## 9. SAŽETAK

U ovom preglednom diplomskom radu opisan je lokomotorni sustav psa i njegova biomehanika. Opisana je kinetička i kinematička analiza, oprema potrebna za njihovo izvođenje, interpretacija prikupljenih podataka te njihova primjena u praksi. Prikazane su promjene u biomehanici lokomocije psa nastale zbog nekih patoloških stanja te njihovo vraćanje prema fiziološkim vrijednostima prilikom otklanjanja tih stanja i oporavka pacijenta. U radu je opisana i važnost biomehantičke analize prilikom terapijskih vježbi, te načina njihovog odabira za individualnog pacijenta, promjene do kojih one dovode i njihove prednosti s gledišta biomehanike.

Ključne riječi: Biomehanika, pas, lokomocija, fizikalna terapija

## **10. SUMMARY**

### **Biomechanic analysis of dog locomotion**

In this thesis work is described the locomotor system of the dog and its biomechanics. The kinetic and kinematic analysis, the equipment required for their performance, the interpretation of data collected and their application in practice are described. Changes have been presented in the biomechanics of the dog's locomotion caused by some pathological conditions and their return towards physiological values after removing this condition and recovering the patient. The paper also describes the importance of biomechanical analysis in therapeutic exercises, their choice for individual patient, changes they bring and their biomechanical advantages.

Keywords: Biomechanics, dog, locomotion, physical therapy

## 14. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 21. listopada 1991. godine u Zagrebu, Republika Hrvatska.

2006. godine završio sam Osnovnu školu „Silvija Strahimira Kranjčevića“ u Zagrebu.

2010. godine završio sam Srednju Veterinarsku školu u Zagrebu.

2010. godine upisao sam integrirani preddiplomski i diplomski Studij veterinarske medicine na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Imam položen vozački ispit B kategorije.

Služim se engleskim jezikom u govoru i pismu.