

# Biomehanika terapijskih vježbi u pasa

---

Jurković, Maja

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:178:565999>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
VETERINARSKI FAKULTET

Maja Jurković

**BIOMEHANIKA TERAPIJSKIH VJEŽBI U PASA**

Diplomski rad

Zagreb, 2020

Ovaj je rad izrađen na Zavodu za rendgenologiju, ultrazvučnu dijagnostiku i fizikalnu terapiju te na Zavodu za fiziologiju i radiobiologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Predstojnik zavoda za rendgenologiju, ultrazvučnu dijagnostiku i fizikalnu terapiju:

prof. dr. sc. Damir Stanin

Predstojnik zavoda za fiziologiju i radiobiologiju:

prof. dr. sc. Suzana Milinković-Tur

Mentori:

doc. dr. sc. Zoran Vrbanac

doc. dr. sc. Ana Shek Vugrovečki

Članovi Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. doc. dr. sc. Ivona Žura Žaja
2. doc. dr. sc. Ana Shek Vugrovečki
3. doc. dr. sc. Zoran Vrbanac
4. prof. dr. sc. Damir Stanin (zamjena)

## IZJAVA

*Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad samostalno izradila na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu koristeći se znanjem stečenim tijekom studija i navedenom literaturom.*

## ZAHVALA

*Zahvaljujem mentorima doc. dr. sc. Ani Shek Vugrovečki i doc. dr. sc. Zoranu Vrbancu na pruženoj podršci, savjetima, izdvojenom vremenu i strpljenju tijekom izrade ovog rada.*

*Zahvaljujem prijateljima i kolegama s fakulteta zbog kojih je studiranje bilo ljepše i zabavnije.*

*I na kraju, veliko hvala cijeloj mojoj obitelji koja je uvijek bila najveća podrška.*

## POPIS PRILOGA:

### Slike:

Slika 1. Shematski prikaz kompaktne i spužvaste koštane tvari iz dijafize cjevaste kosti .....	3
Slika 2. Građa skeletnog mišića od makroskopskih do molekularnih struktura.....	8
Slika 3. A) Normalan položaj patele; B) Medijalno dislocirana patela .....	12
Slika 4. Pas hoda po ploči koja mjeri sile reakcije tla .....	13
Slika 5. Prikaz sila reakcije tla.....	14
Slika 6. Vježba „vožnja tački“ .....	22
Slika 7. Vježba plesanja.....	23
Slika 8. Cavaletti tračnice .....	24
Slika 9. Pas na podvodnoj pokretnoj traci .....	26

### Kratice:

F – sila

M – moment

d – dužina kraka momenta

GRF – (engl. *ground reaction force*) sila reakcije tla

Z – vertikalna sila reakcije tla

Y – kranio-kaudalna sila

X – mediolateralna sila

# SADRŽAJ

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU .....	I
1. UVOD.....	1
2. KOŠTANI SUSTAV .....	2
2.1. Anatomija kosti.....	2
2.2. Građa i sastav kosti .....	4
3. SPOJEVI KOSTIJU .....	5
3.1. Pravi zglobovi .....	5
3.2. Biomehanika zglobova.....	6
4. MIŠIĆNI SUSTAV .....	6
4.1. Skeletni mišić.....	7
4.1.1. Mišićno vlakno.....	8
4.1.2. Kontrakcija mišićnog vlakna.....	8
4.1.3. Biomehanika skeletnih mišića.....	9
5. PRIMJENA TEORIJA MEHANIKE I ANALIZE KRETANJA.....	11
5.1. Moment sile .....	11
5.2. Poluge .....	12
5.3. Kutni pomak.....	12
6. KINETIČKA I KINEMATIČKA ANALIZA KRETANJA .....	13
7. ANALIZA HODA KOD ZDRAVIH PASA .....	16
8. ANALIZA HODA KOD POJEDINIH PATOLOŠKIH STANJA.....	17
8.1. Displazija kuka.....	17
8.2. Puknuće prednjeg križnog ligamenta.....	18
9. TERAPIJSKE VJEŽBE.....	19
9.1. Hodanje .....	19
9.2. Kas .....	19
9.3. Hodanje na pomičnoj traci .....	20
9.4. Hodanje uzbrdo .....	20
9.5. Hodanje nizbrdo.....	21
9.6. Penjanje uz stepenice .....	21
9.7. Silaženje niz stepenice .....	22
9.8. „Vožnja tački“.....	22
9.9. Vježba plesanja .....	23
9.10. Cavaletti tračnice.....	23

9.11.	Sjedanje i ustajanje.....	24
9.12.	Podvodne vježbe .....	24
10.	RASPRAVA .....	27
11.	ZAKLJUČAK .....	29
12.	LITERATURA .....	30
13.	SAŽETAK .....	33
14.	SUMMARY .....	34
15.	ŽIVOTOPIS.....	35

## 1. UVOD

Biomehanika je znanost koja se bavi primjenom zakona mehanike u rješavanju bioloških problema. Interdisciplinarnog i multidisciplinarnog je karaktera te proučava mehanička svojstva bioloških organizama, sustava, organa ili tkiva te kretanje cijelog organizma ili samo njegovih dijelova primjenjujući znanja iz anatomije, fiziologije, fizike, mehanike i matematike (NIKOLIĆ i sur., 2011.).

Kod biomehaničke analize usredotočiti ćemo se na biomehaniku mišićno-koštanog sustava, statiku koja proučava tijela u mirovanju, dinamiku koja proučava gibanje pod utjecajem sile i kinematiku koja opisuje pokret bez obzira na njegov uzrok, masu tijela i djelovanje sile.

Kako bi se dobio uvid u funkcionalnost i značaj mišićno-koštanog sustava, a prije razrade biomehanike terapijskih vježbi u pasa potrebno je poznavati anatomiju i fiziologiju lokomotornog sustava.

Lokomotorni sustav je složeni organski sustav sa središnjom funkcijom oblikovanja i održavanja izgleda tijela te pokretanja dijelova tijela ili cijelog organizma. Osnovu mehaničkog djelovanja sustava za kretanje čine koštani sustav i mišići.

Lokomotorni sustav je sastavljen od pojedinačnih elemenata: kosti, hrskavica, ligamenata i zglobova koji oblikuju tijelo te podupiru i štite meka tkiva u tijelu. Kostur čini pasivni dio organa za kretanje, dok mišići čine aktivni dio jer sudjeluju aktivno u kretanju tijela (LIEBICH i sur., 2009.). Na tijelo djeluju vanjske (gravitacija) i unutrašnje sile koje su posljedica mišićnih kontrakcija i prenose se neposredno na kosti skeleta. Generirana mišićna sila, preko kostiju i zglobova, omogućava kretanje. Stoga se kosti ponašaju prema zakonima poluga povezanih zglobovima.



## 2. KOŠTANI SUSTAV

Kosti i hrskavice oblikuju potporni okvir tijela. One omogućavaju kretanje, zaštićuju meke organe prsnog i zdjeličnog područja te središnjeg živčanog sustava okružujući mozak i kralježničnu moždinu. Osim potporne uloge kosti imaju ulogu i hematopoetskog organa jer sadrže crvenu koštanu srž koja stvara crvene krvne stanice i više vrsta bijelih krvnih stanica. U odraslih životinja koštana srž sadrži mast. Kosti također služe kao spremište kalcija, fosfata i drugih minerala. Stoga kostur ima tri različite značajne uloge: potpornu, zaštitnu i metaboličku.

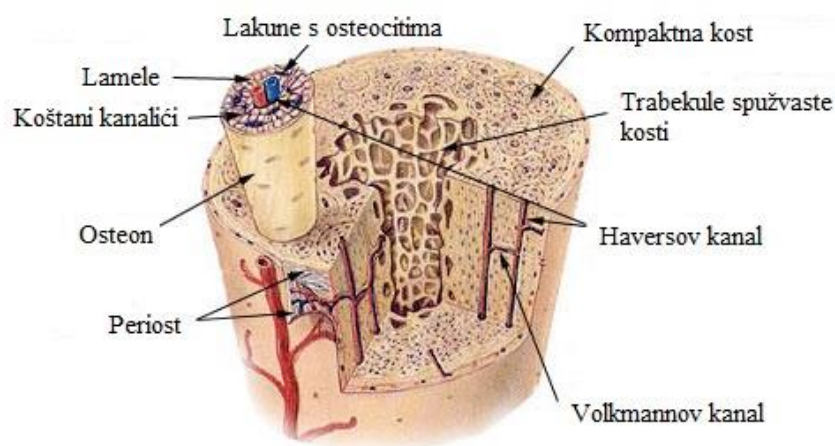
Kosti se razlikuju oblikom, veličinom i čvrstoćom između vrsta, ali i između jedinki unutar iste vrste životinja. Prije svega to je uvjetovano genetski te statičkim i dinamičkim utjecajima kojima je životinja izložena tijekom života. Građa kosti prilagođava se mehaničkim zahtjevima kojima je podvrgnuta promjenom metabolizma. Ta prilagodba odvija se stalnom resorpcijom i odlaganjem koštane tvari. Zbijena koštana tvar pokazuje neposredan odnos prema tlaku kojem je kost podvrgnuta. Ona je najdeblja u srednjem dijelu duge kosti jer su ovdje najjače sile koje djeluju na kost, a najtanja prema krajevima, gdje sile nisu tako velike. Lokalna deblja područja nalaze se tamo gdje je povećano naprezanje ligamenata i tetiva (LIEBICH i sur., 2009.).

### 2.1. Anatomija kosti

Krajevi kosti nazivaju se epifizama, a duga kompaktna osovina kosti je dijafiza. Kod mladih životinja koje rastu hrskavični matriks nazvan epifizna ploča razdvaja epifizu i dijafizu. Dijafiza se pridružuje epifiznoj ploči (ili ploči za rast) prijelaznom spužvastom kosti nazvanom metafiza. Dijafiza se sastoji od kompaktne kosti sa spužvastom kosti u srednjem ili medularnom prostoru. Medularni prostor nije u potpunosti šuplji. Koštani šiljci ili gredice tvore rešetkaste strukture unutar kojih se nalazi koštana srž. Ova spužvasta ili trabekularna kost pruža veliku čvrstoću kosti i omogućava određenu fleksibilnost koja ne bi bila moguća kada bi cijela kost bila kompaktna kost. Također značajno smanjuje težinu kosti bez uvelikog ugrožavanja snage (GOFF, 2015.). Na funkciju kosti utječe i vezivotkivna opna, pokosnica. Prema svom položaju razlikuje se vanjska pokosnica, periost i unutrašnja endost (LIEBICH i sur., 2009.). Endost tvori granicu prema koštanoj srži. Periost naliježe na vanjsku površinu kosti, ali ne prekriva zglobne hrskavice, hvatišta tetiva i ligamenata. Periost je važan za

opskrbu krvlju, rast, regeneraciju, cijeljenje lomova kostiju i za prijenos mišićne snage na kost. Tri glavne vrste stanica koje izgrađuju koštano tkivo su osteoblasti, osteociti i osteoklasti (GOFF, 2015.).

Osteoblasti su glavne stanice koje sudjeluju u procesu okoštavanja i lako ih se opaža tijekom stvaranja novih kostiju. Osteoblasti sintetiziraju organske sastojke koštanog matriksa. Tijekom intramembranske osifikacije osteoblasti se okružuju nekalcificiranom temeljnom tvari koja se mineralizira i pretvara osteoblaste u osteocite (LIEBICH i sur., 2009.). Osteociti su relativno samotne stanice. Mala područja u kojima se nalaze osteociti nazivaju se lakune. Kanali ili tuneli tvore labirint veza između susjednih osteocita tj. lakuna. Citoplazmatski izdanci svakog osteocita protežu se kroz kanale omogućujući susjednim osteocitima međusobno kontakt. Tekućina unutar lakuna i kanalskog sustava relativno je bogata kalcijem. Kad se aktiviraju paratiroidnim hormonom, osteociti mogu transportirati taj kalcij iz koštane tekućine u izvanstaničnu tekućinu kako bi se povećala koncentracija kalcija u krvi, proces poznat kao osteocitna osteoliza. To je vrlo brz odgovor na hipokalcemiju (u roku od nekoliko sati) u odnosu na osteoklastičnu resorpciju kosti, kojoj treba nekoliko dana da postane aktivna (GOFF, 2015.). Osteoklasti su vrlo velike multinuklearne stanice promatrane na koštanima površinama koje aktivno razgrađuju kost. Dokazi sada sugeriraju da su osteoklasti istog porijekla kao monociti imunološkog sustava. Stoga bi ih moglo biti prikladno smatrati makrofazima koštanog tkiva. Osteoklasti su prilično pokretni i mogu migrirati duž površine kosti do mjesta resorpcije kosti (GOFF, 2015.).



Slika 1. Shematski prikaz kompaktnog i spužvastog koštanog tkiva iz dijafize cjevaste kosti (preuzeto i prilagođeno iz [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Illu\\_compact\\_spongy\\_bone.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Illu_compact_spongy_bone.jpg))

## 2.2. Građa i sastav kosti

Koštano tkivo daje kostima izrazitu čvrstoću koja ne proizlazi samo iz homogene i masivne građe, već svaka pojedina kost ima specifičnu arhitekturu. Na arhitekturu kosti utječe građa stijenke zbite koštane tvari, arhitektura unutrašnje spužvaste tvari, građa središnje sržne šupljine, sile vlaka i tlaka (istezanja i pritiska), trajektorijalni način građe unutrašnje strukture i savijanje cijele kosti pod pritiskom. Površinski sloj kosti građe gusto poredane koštane lamele koje čine osnovu zbite koštane tvari, kompakte. Nasuprot vanjskom čvrstom sloju zbite koštane tvari u unutrašnjosti kosti se nalazi nježna mreža koštanih gredica i listića, spongioza. Raspored gredica i listića odraz je funkcionalne prilagodbe kosti na maksimalne sile vlaka i tlaka koje djeluju izvana na kost. Koštane gredice i listići postavljeni su okomito jedni na druge. Građa srednjeg dijela kosti nije pod utjecajem sila vlaka i tlaka. U području dijafize umjesto spongioze nalazi se središnja sržna šupljina. Ovdje je vanjska koštana stijenka pojačana gustim slojem koštanih lamela. Spongioza i središnja sržna šupljina sadrže koštanu srž te se u njima odvija hematopoeza (LIEBICH i sur., 2009.).

Krvne žile položene su paralelno s duljinom kosti i nalaze se u kanalima poznatim kao Haversovi kanali. Manje krvne žile položene su okomito na žile unutar Haversovih kanala i ti se kanali nazivaju Volkmannovi kanali. Volkmannovi kanali povezuju krvne žile Haversovih kanala s periostom s vanjske strane kosti i medularnom šupljinom koja tvori koštanu srž s unutarnje strane kosti. Hranjivi sastojci transportiraju se između krvnih žila Haversovih kanala i koštanog matriksa, što je bitno za prehranu osteocita. Stoga su sve koštane stanice relativno blizu krvnih žila ili povezane s krvnim žilama pomoću kanala koji prožimaju koštano tkivo. U kompakti osteoblasti tvore kost u koncentričnim slojevima koji okružuju svaki Haversovski kanal. Kako se osteoblasti zatvaraju u koštani matriks koji su proizveli, oni postaju osteociti. Sustav kanala poznat kao kanalikuli povezuje osteocite jedne s drugima i s periostom i koštanom srži (GOFF, 2015.).

Anorganski dio kosti čini otprilike dvije trećine njene suhe tvari. Preostalu jednu trećinu kosti čini organska tvar, kolageni strukturni proteini i lipidi. Koštani minerali uključuju kalcij, fosfor, magnezij, natrij, kalij, klorid i fluorid. Koštana sol sadrži i značajne količine citrata, hidroksila i karbonata. Organska komponenta kosti daje žilavost i otpornost. Glavna organska komponenta kosti je vlaknasti protein kolagen. Glavni kolagen kostiju naziva se tip I. Kolagen tipa I čini 90% koštanog matriksa. Suprotno tome, kolagen tipa II, koji se nalazi samo u hrskavici, čini samo 40% matriksa hrskavice. Kolagen tipa I sintetizira

se unutar osteoblasta i u manjoj mjeri osteocita. Umetnuti između kolagenih vlakana su manji proteini koji se nazivaju proteoglikani. Proteoglikani kosti formiraju mnogo gušći matriks s koštanim kolagenom tipa I. U koštanom matriksu također postoje brojni manji proteini. Neki imaju važne uloge u kontroli procesa mineralizacije (GOFF, 2015.).

### 3. SPOJEVI KOSTIJU

Zglob je spoj između bilo koje dvije kosti. Postoji nekoliko vrsta zglobova. Spojevi bez spojne šupljine nazivaju se sinartroze i to su nepokretni spojevi. Kada su spojevi ispunjeni vezivnim tkivom nazivaju se vezivotkivnim spojevima, a ako su ispunjeni hrskavicom hrskavičnim spojevima. Povećanje pokretljivosti između dviju kosti postiže se oblikovanjem zglobne šupljine i takve spojeve nazivamo pokretnima (LIEBICH i sur., 2009.).

#### 3.1. Pravi zglobovi

Pravi ili sinovijalni zglobovi posjeduju zglobnu šupljinu ispunjenu zglobnom tekućinom (LIEBICH i sur., 2009.). Kretanje zgloba je kontrolirano i ograničeno djelovanjem mišića i pasivnih struktura poput ligamenata i tetiva. Sinovijalni zglobovi sadrže kapsulu koja ima vanjski vlaknasti sloj. On je nastavak susjednog perihondrija ili periosta i može biti pojačan ligamentima, koji se najčešće nalaze izvan zgloba. Unutarnja površina zglobne kapsule sastavljena je od sinovijalnih membrana koje sudjeluju u proizvodnji vrlo viskozne sinovijalne tekućine. Sinovijalna tekućina u osnovi je ultrafiltrat krvne plazme kojoj su sinovijalne stanice dodale tvari poput hijaluronske kiseline i proteina lubricina. Sinovijalna tekućina osigurava podmazivanje zgloba kako bi se smanjilo trenje između zglobnih površina (GOFF, 2015.). Zglobna hrskavica leži neposredno na epifizi kosti. Ona nije prekrivena perihondrijem i glatka je prema zglobnoj šupljini. Svojom građom hijalina hrskavica djeluje kao amortizer, savitljiva je i elastična. U nekim se zglobovima između zglobnih površina nalaze intraartikularne pločice od vlaknate hrskavice. Primjer su meniskusi u koljenom zglobu. Oni dopuštaju veći opseg kretanja, upotpunjuju inkongruenciju zglobnih ploha i smanjuju trzanja unutar zgloba (LIEBICH i sur., 2009.).

### 3.2. Biomehanika zglobova

Dok sila kontrakcije mišića djelovanjem na duge kosti uzrokuje gibanje određenog zgloba, oblik zglobne površine određuje moguće pokrete zgloba kao što su fleksija, ekstenzija, abdukcija, adukcija i rotacija. 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 sabijanje dviju 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. Zbog promjene oblika zglobne kapsule, prilikom pokreta zgloba, mijenja se intraartikularni tlak koji je kod fleksije veći, a kod ekstenzije manji. Povišeni intraartikularni tlak može rezultirati pojačanom boli i utjecati na rehabilitaciju (WEIGEL i sur., 2005.).

## 4. MIŠIĆNI SUSTAV

Mišić je kontraktilno tkivo i obavlja različite funkcije skraćivanjem i povlačenjem drugih struktura. Uz skraćivanje, mišići imaju i druga svojstva koja uključuju podražljivost (sposobnost primanja i reagiranja na podražaj), rastezljivost (sposobnost istezanja i elastičnost) i sposobnost da se vrati u prvotni oblik nakon istezanja (O.REECE, 2015.).

Mišićno tkivo svrstava se prema morfološkim i funkcionalnim svojstvima u dvije glavne skupine: glatko mišićno tkivo i poprečnoprugasto mišićno tkivo koje se dijeli na skeletno i srčano (LIEBICH i sur., 2009.). Mišići se razlikuju po obliku, veličini i smještaju. Prema obliku mogu se svrstati u sljedeće skupine: vretenasti, pločasti, dvoglavi, troglavi, četveroglavi, dvotrušni, kružni i prstenasti mišići. Hvatišta mišića koja ostaju nepomična tijekom kretanja nazivaju se početak i završetak. Kraj mišića koji je najbliže središtu ili osovini tijela naziva se početak, a najudaljeniji kraj naziva se završetak (LIEBICH i sur., 2009.).

U svaki je pokret tijela uključeno više mišića, istovremeno ili jedan za drugim. Mišići koji imaju jednako djelovanje zovu se sinergisti. Mišići suprotnog djelovanja zovu se antagonisti. Tijekom mišićne kontrakcije jedan mišićni prihvata ostaje nepomičan, dok se drugi privuče prvome. Djelovanje mišića ovisi o njegovom početku, smjeru, prihvatu i o točki kretanja. Da bi proizveo određeni pokret, mišić mora savladati mišićni tonus antagonista i gravitaciju. Prije nego što se mišićni trbuh vidljivo kontrahira skraćanjem svojih mišićnih vlakana, on povećava svoju unutarnju napetost. Djelovanje mišića na zglob prati mehanički zakon sustava poluge. Prema funkciji mišić se može svrstati kao: ekstenzor (ispruživač), fleksor (sagibač), aduktor (primicač), abduktor (odmicač), rotator (okretač), sfinkter (stezač), dilatator (raširivač), levator (podizač), depresor (spuštač) (LIEBICH i sur., 2009.).

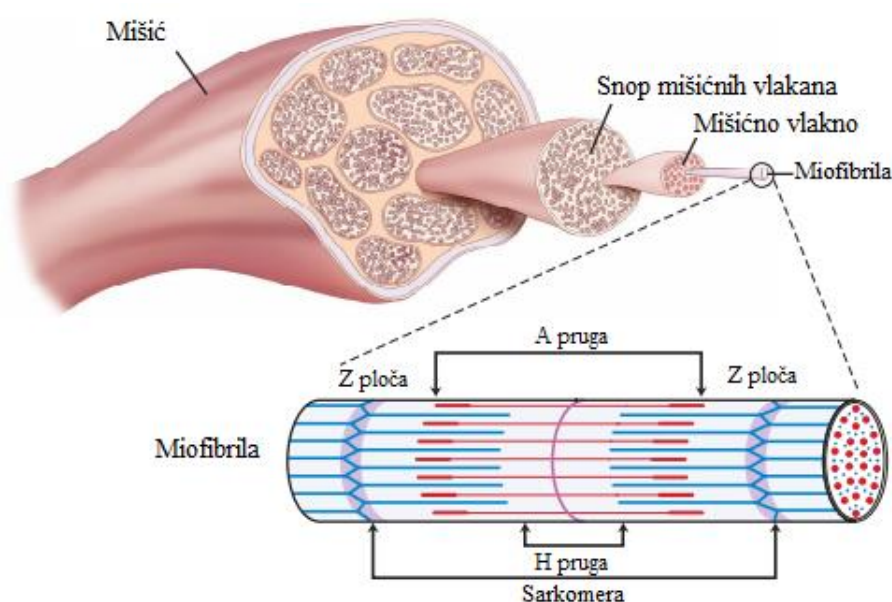
#### 4.1. Skeletni mišić

Skeletni mišići sastoje se od hvatišta i mišićnog trbuha koji se može kontrahirati. Sa svake strane mišićnog trbuha prihvaćaju se početna i završna tetiva, koje prenose snagu kontrakcije mišićnog trbuha na pasivni dio lokomotornog sustava. Mikroskopski mišićna vlakna su poprečnoprugasta zbog paralelnog i pravilnog poretka aktinskih i miozinskih miofilamenata unutar svakog mišićnog vlakna. Mišićna vlakna razlikuju se prema broju kontraktilnih miofilamenata u svojoj sarkoplazmi. Ako vlakna sadrže velik broj miofilamenata, mogu imati ograničenu količinu mioglobina pa izgledaju „bijela“. Takav tip vlakana ima sposobnost visoke kontraktilnosti, ali kratkog trajanja. „Crvena“ mišićna vlakna imaju manje miofilamenata, ali sadrže više mioglobina pa se mogu relativno duže kontrahirati, no s manjom snagom (LIEBICH i sur., 2009.).

Mišićno tkivo, osim mišićnih vlakana, sadrži komponentu vezivnog tkiva koja osigurava vezanje. Površina mišića pokrivena je epimizijem, ovojnicom od vezivnog tkiva koja međusobno odvaja susjedne mišiće. Mišić je sastavljen od vlakana skupljenih u snopove okružene vezivnim tkivom, perimizijem. Svako mišićno vlakno okruženo je mrežom finih kolagenih vlaknaca, endomizijem. Mišićno vlakno je kontraktilna jedinica koja se skraćuje, a potez koji vrši se prenosi endomizijem, perimizijem i epimizijem na tetivu ili aponeurozu koja je vezana za kost, čime izazivaju njeno kretanje (O.REECE, 2015.).

### 4.1.1. Mišićno vlakno

Svi se skeletni mišići sastoje od velikog broja mišićnih vlakana. Svako mišićno vlakno sadrži nekoliko stotina do nekoliko tisuća mišićnih vlakanaca ili miofibrila. Daljnja podjela miofibrila je u ponavljajuće jedinice (sarkomere) i njihove komponente. Sarkomere sadrže proteinske mikrofilamente, aktin i miozin, koji svojim rasporedom uzrokuju ispruganost. Sarkomera se nalazi između dviju susjednih Z- ploča i predstavlja osnovnu jedinicu mišićne kontrakcije. Krajevi aktinskih niti pričvršćeni su za Z-ploču. Dakle, svaka sarkomera sa svojih krajeva projicira aktinske niti prema centru. Aktini dviju sarkomera koje dijele Z-ploču čine I-pruge. Miozinske niti su centralno smještene unutar sarkomera i zajedno s krajevima aktinskih niti koji se preklapaju s miozinskim nitima, čine tamnu prugu (A-prugu). Za vrijeme relaksacije sarkomera, krajevi aktinskih niti međusobno se vrlo malo preklapaju. U stanju kontrakcije aktinske niti su uvučene među miozinske niti pa se njihovi krajevi međusobno mnogo više preklapaju. Aktinske niti privuku Z-ploče prema krajevima miozinskih niti (O.REECE, 2015.).



Slika 2. Građa skeletnog mišića od makroskopskih do molekularnih struktura (preuzeto i prilagođeno iz Weigel i Millis, 2014.)

### 4.1.2. Kontrakcija mišićnog vlakna

Skeletna mišićna vlakna inervirana su mijeliniziranim živčanim vlaknima koja potječu iz velikih motoneurona prednjih rogova kralježničke moždine. Svaki živčani završetak

povezan je s mišićnim vlaknom u neuromuskularnom spoju, koji se nalazi otprilike na sredini mišićnog vlakna, pa akcijski potencijal u vlaknu putuje u oba smjera prema njegovim krajevima. Ovakvo širenje potencijala vrlo je značajno jer omogućuje da se sve sarkomere mišića gotovo istodobno kontrahiraju. Zato se sarkomere mogu kontrahirati sve odjednom, a ne jedna po jedna. Akcijski potencijal putuje uzduž motoričkog živca do njegovog završetka na mišićnim vlaknima. Na svakom završetku živac luči neurotransmiter acetilkolin. Acetilkolin lokalno djeluje na membranu mišićnog vlakna te otvara kanale regulirane acetilkolinom. Otvaranje kanala reguliranih acetilkolinom omogućuje ulaženje natrijevih iona u unutrašnjost membrane mišićnog vlakna. To potiče stvaranje akcijskog potencijala u mišićnom vlaknu. Akcijski potencijal putuje uzduž membrane mišićnog vlakna na isti način kao i uzduž membrane živčanog vlakna. Akcijski potencijal depolarizira mišićnu membranu, a veliki dio električne struje akcijskog potencijala ide duboko unutar mišićnog vlakna. Time se iz sarkoplazmatske mrežice oslobađa velika količina kalcijevih iona. Kalcijevi ioni potiču privlačne sile između aktinskih i miozinskih niti što uzrokuje njihovo međusobno klizanje. Poslije dijelica sekunde membranska kalcijaska crpka vraća kalcijeve ione u sarkoplazmatsku mrežicu, gdje oni ostaju pohranjeni do novog akcijskog potencijala (GUYTON i HALL, 2017.).

#### 4.1.3. Biomehanika skeletnih mišića

Iako je interakcija aktina i miozina odgovorna za kontrakciju mišića, interakcija tetive sa njenim mišićem djeluje kao opruga. Vezivno tkivo mišića (epimizij, perimizij, endomizij) djeluje kao dodatna elastična komponenta. Kada se te elastične komponente pasivno protežu izvan normalne duljine mirovanja, stvara se napetost i pohranjuje se potencijalna energija. Kada napetost popusti dolazi do elastičnog odaziva, oslobađa se energija i mišić se vraća u svoju dužinu mirovanja. Sustav opruge mišić-tetiva spriječava prekomjerno istežanje i moguća oštećenja mišića.

Snaga kontrakcije varira, a postiže se zbrajanjem motoričkih jedinica. Motoričku jedinicu čine sva mišićna vlakna koja inervira jedno motoričko živčano vlakno. Stimulacija jedne motoričke jedinice izaziva slabu kontrakciju, dok stimulacija velikog broja motoričkih jedinica razvija jaku kontrakciju. Dakle, zbrajaju se pojedini mišićni trzaji radi povećanja intenziteta ukupne mišićne kontrakcije. Sumacija nastaje povećanjem broja motoričkih jedinica koje se kontrahiraju istodobno (sumacija većeg broja vlakana) i povećanjem



učestalosti kontrakcija (sumacija frekvencija) (GUYTON i HALL, 2017.). Različite motoričke jedinice podražene su asinkrono, kontrakcije se pojavljuju jedna za drugom te nastaje glatka kontrakcija. Prilikom zbrajanja frekvencija podraživanja mišića učestalost podraživanja se povećava tako da se nove kontrakcije pojavljuju prije nego završi prethodna te mišićna sila s vremenom doseže plato. Kao rezultat ovakvog podraživanja razvija se tetanus (grč) koji rezultira trajnom, ravnomjernom kontrakcijom (GUYTON i HALL, 2017.).

Tipovi kontrakcije mogu se klasificirati prema odnosu između sile proizvedene kontrakcijom (mišićne sile) i sile otpora (opterećenja) koju treba savladati. Dva glavna tipa mišićne kontrakcije su izometrična i izotonična. Izometrična kontrakcija (kada mišić ne mijenja duljinu prilikom kontrakcije) se javlja kada se mišić kontrahira kako bi održao zglob u položaju. Sva se mehanička energija pohranjuje u mišić kao potencijalna energija. Također, mišić apsorbira energiju od udara, prigušuje vibracije i štiti koštani sustav. Izotonična kontrakcija uključuje vršenje vanjskog rada. To je kontrakcija kod koje se mišić može skratiti jer je sila otpora manja od maksimalne sile kontrakcije (koncentrična kontrakcija) ili produljiti kada je sila otpora veća od sile koju mišić može proizvesti (ekscentrična kontrakcija). Kod ekscentrične kontrakcije može doći do ozljeda mišića i boli. Brzina kontrakcije ovisi o opterećenju. Najveća brzina postiže se s najmanjim opterećenjem. Fiziološki, kretanje se sastoji od mješavine koncentričnih, ekscentričnih i izometričnih kontrakcija (WEIGEL i MILLIS, 2014.).

Sila koju stvara mišić ovisi o duljini mišića. Mišić stvara relativno malo napetosti kada se održava u ekstremno dugom ili krajnje skraćeno stanju. Razlog tome je što s većom mišićnom duljinom dolazi do manjeg preklapanja aktinskih i miozinskih niti, manje je poprečnih mostova i posljedično manja napetost. Kako se duljina mišića smanjuje dolazi do sve većeg preklapanja aktinskih i miozinskih niti. Mišić postiže svoj maksimalni učinak kada je srednje duljine. Ako se mišić nastavi još dalje skraćivati dolazi do smetnji u stvaranju poprečnih mostova jer se aktinske niti počinju preklapati s drugim nitima na suprotnoj strani sarkomera. Rezultat je smanjena napetost mišića (WEIGEL i MILLIS, 2014.).

Mišići imaju pasivnu i aktivnu napetost. Aktivna napetost se odvija kroz izometričnu kontrakciju mišića dok se pasivna napetost mišića javlja dok je mišić neaktivan. S produljivanjem mišića pasivna napetost raste dok je gotovo nema kada je mišić srednje duljine. Pasivna napetost mišića ima ulogu u pružanju otporne sile čak i ako nema mišićne aktivnosti. Posljedica pasivne napetosti je izraženija kod mišića koji prelaze dva zgloba.

Primjerice, fleksija bočnog zgloba je limitirana ako je koljeno u ekstenziji zbog pasivne napetosti *m. biceps femoris* i *m. semitendinosus*. Ovu spoznaju je važno znati kod izvođenja pasivnih vježbi, goniometrije i ortopedskih pregleda (WEIGEL i MILLIS, 2014.).

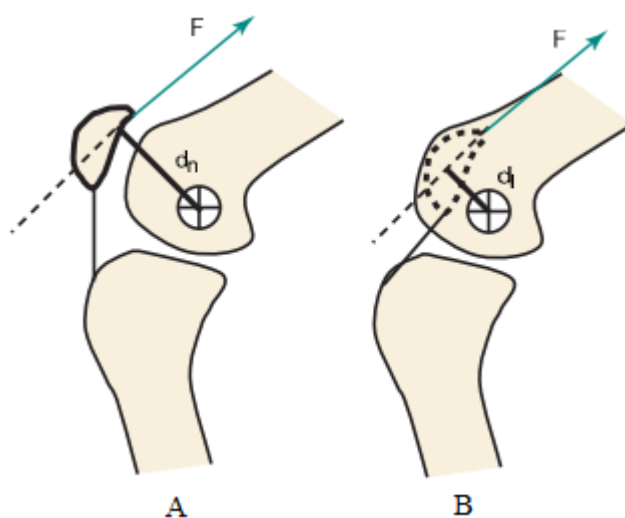
Silu koju mišić stvori prenosi preko tetiva na kosti. Maksimalna snaga zgloba je najčešće kod fleksije pod 90 stupnjeva (WEIGEL i MILLIS, 2014.). Razumijevanje principa stvaranja sile od strane mišića pomaže nam pri odabiru terapije i maksimalizira učinkovitost vježbi.

## 5. PRIMJENA TEORIJA MEHANIKE I ANALIZE KRETANJA

Sila je vektorska fizikalna veličina kojom se opisuje svaki utjecaj na promjenu oblika i strukture tijela, promjenu brzine tijela ili čestice tj. međudjelovanje fizikalnih sustava ili međudjelovanje sustava i polja (TEHNIČKI LEKSIKON, 2007.).

### 5.1. Moment sile

U biološkim sustavima sile rijetko djeluju izravno duž središnje osi i kroz središte kretanja stoga rezultiraju tendencijom rotiranja. Takve se tendencije nazivaju momenti i važni su za razumijevanje kako sile utječu na sposobnost funkcioniranja tijela. Moment sile uključuje os rotacije, silu (ima svoju jačinu i smjer) i krak momenta (okomita udaljenost od središta rotacije do točke primjene sile). Momenti sile važni su u učinkovitoj funkciji mišića u održavanju težine. Primjerice, u koljenom zglobu, normalan položaj patele stvara moment kvadricepsa oko središta rotacije koljena, tako da se ekstenzija koljena održava dovoljno da nosi težinu. Međutim, funkcija se mijenja kada patela nije u svom normalnom položaju i dislocirana je medijalno. U dislociranom položaju dužina kraka momenta se skraćuje, što ozbiljno ugrožava sposobnost kvadricepsa da stvori dovoljan moment i da se na taj način odupre težini tijela. Stoga psu s dislociranom patelom slabi mišićna masa u stražnjem udu i ne može normalno podnijeti težinu ili obavljati neke aktivnosti, poput skakanja. Moment se može izmijeniti i promjenom jačine sile koja stvara moment. Na primjer, snaga kvadricepsa je smanjena nakon ozljede i kirurške reparacije kranijalnog križnog ligamenta. Napori u rehabilitaciji trebaju se usredotočiti na oporavak snage kvadricepsa kako bi moment ekstenzije koljena postao sposobniji za stabilizaciju koljena u nošenju težine (WEIGEL i MILLIS, 2014.).



Slika 3. A) Normalan položaj patele; B) Medijalno dislocirana patela  
 Dužina kraka momenta ( $d$ ) se skraćuje kada je patela dislocirana medijalno;  $F$ -sila,  $d_n$ -dužina kraka momenta kod normalnog položaja patele,  $d_l$ -dužina kraka momenta kod luksacije patele (preuzeto i prilagođeno iz Weigel i Millis, 2014.)

## 5.2. Poluge

Poluge u mehanici su sustavi koji se zasnivaju na silama i njihovim momentima. U polužnim sustavima sile napora i sile opterećenja djeluju na relativnoj udaljenosti od uporišta samoga sustava i time uzrokuju momente. U mehanici postoje tri razreda polužnih sustava. Poluga prvog razreda ima uporište smješteno između sile napora i sile opterećenja. Poluga drugog razreda ima silu opterećenja između sile napora i uporišta. Poluga trećeg razreda ima silu napora između uporišta i sile opterećenja. Životinje koriste razne poluge prilikom fleksije i ekstenzije zglobova ekstremiteta. Na primjer, ekstenzija lakta djeluje kao sustav poluge prvog razreda, dok fleksija lakta djeluje kao sustav poluge trećeg razreda (WEIGEL i MILLIS, 2014.).

## 5.3. Kutni pomak

Pomicanje uda ili dijelova uda oko zglobova uzrokuje rotacijsko gibanje. Fleksija, ekstenzija, cirkumdukcija, adukcija i abdukcija su rotirajuće prirode. Rotacijsko gibanje je pokret kružne putanje opisan u kutovima. Kutni pomak se može opisati kao promjena kuta i usko je povezan sa pokretima fleksije i ekstenzije. Tijekom hodanja ti pokreti su simetrični i

ponavljajući. Kada bi te pokrete prenijeli na graf imali bi uzorak harmoničnih valova. Iz grafa bi mogli izračunati nekoliko vrijednosti poput amplitude, raspona gibanja, perioda i frekvencije. Slično kao linearna brzina, kutna brzina se izražava kao kutni pomak s obzirom na promjenu vremena. Isto tako, kutno ubrzanje je promjena kutne brzine u odnosu na promjenu vremena. Sofisticirani sustavi za analizu kretanja imaju mogućnost otkrivanja i bilježenja kutnih pomaka u tri dimenzije. Na taj način analiza se može proširiti da obuhvati količinu gibanja i impuls (WEIGEL i sur., 2005.).

## 6. KINETIČKA I KINEMATIČKA ANALIZA KRETANJA

Kod kinetičke procjene mjere se sile koje se javljaju prilikom kretanja tijela. Pomoću analize kretanja možemo odrediti koliko pojedini ud nosi težine kod zdravog psa te otkriti odstupanja ako ona postoje. Takav pristup nam može pomoći u dijagnostici ozljede i odabiru terapije. Pri procjeni hromosti se uobičajno koriste umjeren hod i kas zbog svoje simetrije i brzine. Pas prelazi preko ploče koja mjeri sile reakcije tla uzrokovane tjelesnom težinom za vrijeme kontakta noge s podlogom (PRANKEL i sur., 2016.).

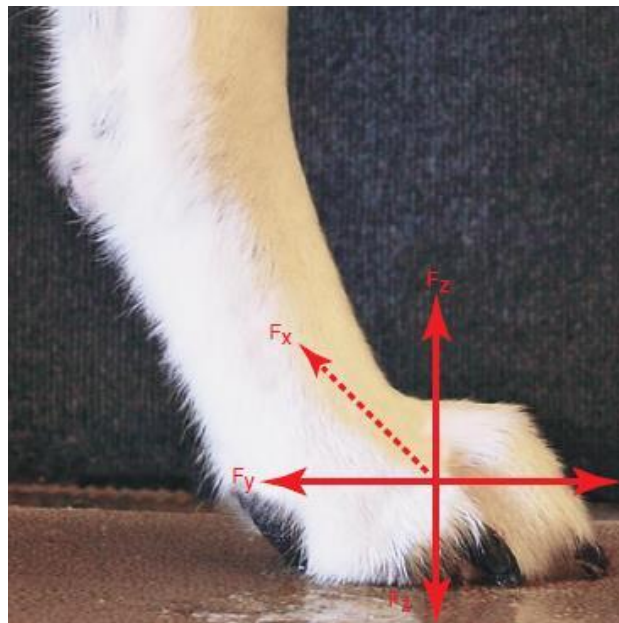


*Slika 4. Pas hoda po ploči koja mjeri sile reakcije tla  
(preuzeto iz Weigel i Millis, 2014.)*

Osnovne veličine pri analizi kretanja su sile reakcije tla (GRF- engl. *ground reaction force*) i impuls. Sile reakcije tla temelje se na trećem Newtonovom zakonu gibanja (zakon

akcije i reakcije), koji kaže da se na svaku silu koja proizlazi iz djelovanja okoline na tijelo javlja protusila koja je iznosom jednaka sili, ali je suprotnog smjera. Sile reakcije tla podijelili smo na vertikalnu silu reakcije tla, kranio-kaudalnu silu i mediolateralnu silu (PRANKEL i sur., 2016.). Vertikalna sila reakcije tla ( $Z$ ) predstavlja nosivost životinje i često se mjeri kao postotak tjelesne težine. Prednji udovi pri stajanju nose 60% tjelesne težine, a stražnji 40 % tjelesne težine. Kranio-kaudalna sila ( $Y$ ) predstavlja sile kočenja i sile potiska koje su suprotnih smjerova. Prednji udovi imaju veće sile kočenja, dok stražnji udovi imaju veće sile potiska. Mediolateralna sila ( $X$ ) predstavlja bočne sile koje djeluju na nogu i rijetko je korištena u ocjenjivanju hromosti jer se životinje kreću ravnom linijom (intenzitet je minimalan u usporedbi sa ostalim silama). Međutim, mediolateralne sile mogu imati značaj kod sportskih životinja koje se brzo okreću prilikom izvođenja vježba agilnosti. Maksimalni iznos reakcijskih sila tla koji se javlja u određenom vremenu nazivamo vršnom silom (WEIGEL i sur., 2005.).

Osim sila koje djeluju na tijelo bitna stavka je vrijeme djelovanja tih sila. Veličina koja opisuje količinu dovedene sile u jedinici vremena nazivamo impuls.



*Slika 5. Prikaz sila reakcije tla  
 $F_z$  pravac-vertikalna sila reakcije tla,  $F_y$  pravac-kranio-kaudalna sila,  $F_x$  pravac-mediolateralna sila  
(preuzeto iz Tobias i Johnston, 2012.)*

U analizama kretanja često se obraća pozornost samo na maksimalnu vrijednost vertikalnih sila dok se zanemaruje brzina opterećivanja i vrijeme oslanjanja uda. Ti faktori direktno utječu na iznos impulsa dok istovremeno nemaju utjecaja na iznos vršne sile. Ako ud

podnosi isto vršno opterećenje kroz duži vremenski period impuls će biti znatno veći. Iz toga razloga je impuls prilikom hoda veći nego što je kod kasa neovisno o tome što u kasu dolazi do pojave većih vršnih opterećenja (WEIGEL i MILLIS, 2014.).

Centar mase psa (težište) je također 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 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 (WEIGEL i sur., 2005.).

Kinematičkom analizom promatramo karakteristike pokreta i kretanja iz perspektive prostora i vremena zanemarujući sile koje ih uzrokuju. To postizemo dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim snimanjem. Dvodimenzionalno je ekonomski pristupačnije, ali i manje korisno od trodimenzionalnog. Procjenjuju se pozicija, brzina i ubrzanje tijela, udova i zglobova. Snima se kretanje na pokretnoj traci ili na tlu. 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 (TOBIAS i JOHNSTON, 2011.). To su obično koštane izbočine i središta zgloba koje se koriste kao referentne točke. Koristi se i kalibracijski kadar kako bi prostorno podesili 3D snimku da bi imali točnost od barem 2mm. Nakon podešavanja, kamere emitiraju infracrveno svjetlo koje se odbija od reflektirajućih markera, a računalni softver bilježi njihove položaje. Staza ili pokretna traka mogu imati ugrađenu platformu za mjerenje sile reakcije podloge i na taj način bi mogli istovremeno prikupljati kinetičke podatke i trodimenzionalne snimke. Kinematički parametri su pomak, kutna brzina i raspon pokreta. 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. Ti parametri su često promijenjeni kod ortopedskih i neuroloških bolesti stoga imaju veliku kliničku i dijagnostičku važnost. Mogu se snimati i prostorno-vremenski parametri kao što su brzina, faze koraka i duljina koraka, ali se ti podaci mogu prikupiti i pomoću kinetičke analize što je ekonomski pristupačnije. Korak se sastoji od dvije faze: podupiranje i predvođenje. U fazi podupiranja šapa je u kontaktu sa podlogom (oslanjanje i odgurivanje) dok je u fazi predvođenja u zraku (podizanje i zamah). Dužina koraka je udaljenost između prvog i drugog kontakta istog uda sa podlogom.

Ostale analize kretanja uključuju pojmove rad, energija i snaga. Rad je produkt sile i prijednog puta. Ako sila varira rad ima oblik integralnog zapisa odnosno rad je integral sile u ovisnosti o putu. Dogovorom je definirano da je pozitivan rad onaj u kojem je smjer sile isti kao pomak, dok je negativan rad onaj u kojem je smjer sile suprotan tom pomaku. Rad koji izvršava sila pogona je pozitivan, dok je rad koji vrši sila kočenja negativan. Rasipanje kinetičke energije ili energije koja se može prepisati gibanju izravno je povezano s obavljenim radom. Ukupni rad tijela na njegovom pomicanju iz jedne točke u drugu je zapravo razlika u kinetičkoj energiji tijela. Snaga je promjena u radu s obzirom na odgovarajuću promjenu vremena. Na primjer, snažan mišić je onaj koji može isporučiti energiju u kratkom periodu (WEIGEL i sur., 2005.).

## 7. ANALIZA HODA KOD ZDRAVIH PASA

Kod zdravih pasa, u stojećem položaju, svaka prednja noga nosi oko 30% tjelesne mase dok stražnje noge nose oko 20% tjelesne mase svaka. 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. Stoga pas može imati maksimalnu vertikalnu silu 55% i 40% prilikom hoda na pojedinoj prednjoj i stražnjoj nozi. Sila se može uvećati do 100%, 118% i 125% na prednjim nogama, odnosno 70%, 80% i 85% na stražnjim nogama prilikom kasa od 1,5-3,0 m/s (WEIGEL i sur., 2005.).

Nekoliko studija procijenjivalo je sile reakcije podloge i kinematičko gibanje zdravih pasa u hodu i kasu. Studije provedene na zdravim psima pokazuju da svaki zglobov ima karakteristični i konstantan slijed fleksija i ekstenzija (HOTTINGER i sur., 1996.). 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 (ALLEN i sur., 1994.). Razlike u provođenju samih ispitivanja bile su nezamjetne dok su kod ispitivanih pasa slične tjelesne građe uočene samo neke manje različitosti. Zaključeno je kako kinematička analiza hoda može pouzdano opisati pokrete zglobova kod pasa slične veličine i građe. Jedna studija je osim procjene kutnog raspona pokreta zgloba tokom hoda definirala i brzine promjene akceleracije i brzine tokom vršenja tih kretnji. Ispitivanje je ukazivalo da su te veličine konzistentne i ponavljajuće

i pomažu pri opisivanju normalnog hoda kod lovačkih pasa (ARNOLD i sur., 2005.). 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.

## 8. ANALIZA HODA KOD POJEDINIH PATOLOŠKIH STANJA

### 8.1. Displazija kuka

Displazija kuka u psa je razvojna anomalija čija je posljedica nastanak sekundarnih promjena (artroza, artritis) i odgovarajućih kliničkih simptoma kao što su bol i hromost. Smatra se da je glavni uzrok prevelika labavost zgloba kuka, koja se očituje subluksacijom glave bedrene kosti. Displazija kuka izaziva različite stupnjeve hromosti kod pasa. Može uzrokovati neprimjetne, lagane, ali i teške, jake promjene u kretanju. Kod pasa s displazijom kuka kinetičkim analizama utvrđena je smanjena maksimalna vertikalna sila reakcije podloge na stražnjim nogama i smanjena sila potiska. Kinematičkom analizom utvrđeno je povećanje ekstenzije kuka u fazi podupiranja i jača fleksija koljena, veći pomak abdukcije i adukcije bočnog zgloba, povećanje duljine koraka, smanjenje razmaka između stražnjih nogu (DECAMP, 1997.). Te promjene su pokazatelji kompenzacije u hodu pogođenih pasa, a posljedica su nelagode, boli i degenerativnih promjena u bočnom zglobu. Kirurškim zahvatima u liječenju displazije kukova poput ugradnje umjetnog kuka ili trostruke osteotomije zdjelice može se poboljšati raspodjela težine s neoperativne strane na stranu sa potpuno zamjenjenim kukom. Jedna studija je određivala biomehaničke vrijednosti hoda kod pasa s displazijom kuka prije i poslije potpune zamjene kuka. Mjesec dana nakon potpune zamjene kuka vidljiva su poboljšanja u maksimalnoj vertikalnoj sili i potisku zahvaćene noge (BUDSBERG i sur., 1996.). Nakon 3 do 6 mjeseci poboljšanja su vidljiva i tijekom kasa. Druga studija utvrdila je pak da mladi psi nakon zahvata trostruke osteotomije zdjelice za 28 tjedana imaju znatno veće opterećenje na operiranoj strani u usporedbi s predoperativnim vrijednostima (MCLAUGHLIN i sur., 1991.).



## 8.2. Puknuće prednjeg križnog ligamenta

Puknuće prednjeg križnog ligamenta među najčešćim je uzrocima šepanja u pasa. Ono može biti djelomično, s malom nestabilnošću zgloba, i potpuno, koje dovodi do izrazite nestabilnosti koljenog zgloba. U većini se slučajeva radi o kroničnom procesu, a rijetko je riječ o traumatskoj ozljedi. Uloga prednjega križnog ligamenta jest stabilizacija koljenog zgloba. Ligament ograničava kranijalni smak potkoljenice, ograničava prekomjernu unutarnju rotaciju koljenog zgloba te sprječava hiperekstenziju. Gubitak funkcije uzrokuje pomak potkoljenice kranijalno što uzrokuje subluksaciju potkoljenice te jaču unutarnju rotaciju koljena. Psi s puknućem prednjeg križnog ligamenta imaju različite stupnjeve hromosti i pokazuju promijenjeno kretanje u kuku, koljenom i tarzalom zglobu. 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.). Nakon puknuća ligamenta, maksimalna vertikalna sila kod umjerenog hoda manja je i do 50% na oboljelom udu, a u kasu se često uopće ne oslanja na nju. Sedam mjeseci nakon operacije psi obično jednako opterećuju obje stražnje noge (BUDSBERG i sur., 1988.).

## 9. TERAPIJSKE VJEŽBE

Terapijske vježbe su kamen temeljac u fizikalnoj rehabilitaciji pasa. Ciljevi terapijskih vježbi su jačanje aktivnih bezbolnih raspona pokreta, izgradnja mišićne mase i snage mišića, vježbanje ravnoteže, propriocepcije i smanjenje težine kako bi se spriječile daljnje ozljede (ŠEHIĆ, 2014.). Terapijske vježbe pomažu pacijentu da se vrati u što optimalnije tjelesno stanje. Program rehabilitacije osmišljen je tako da povrijeđene i disfunkcionalne udove vrati na razinu usporedivu s zdravim udovima, upotrebljavajući odgovarajuće vježbe koje se mogu primijeniti sigurno i djelotvorno.

Vježbe koje će biti pobliže objašnjene su hodanje, kas, hodanje na pomičnoj traci, hodanje uzbrdo/ nizbrdo i niz/uz stepenice, „vožnja tački“, vježba plesanja, cavaletti tračnice, sjedanje i ustajanje, podvodne vježbe.

### 9.1. Hodanje

Hodanje je jedna od najjednostavnijih i najvažnijih vježbi u ranoj rehabilitaciji koja potiče korištenje ekstremiteta. Hod mora biti dovoljno spor kako bi se omogućilo opterećenje cijelog tijela. Ako pas prebrzo hoda, nastojat će podići bolesnu nogu u flektirani položaj i ne oslanjati je (ŠEHIĆ, 2014.). Tijekom hoda maksimalna vertikalna sila je 54% tjelesne težine na prednjim nogama i 40% na stražnjim. 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 (WEIGEL i MILLIS, 2014.). Kad god je to moguće, terapeut može mijenjati plan postupaka vježbi tako da uključi brzi hod, kas i trčanje na pomičnoj traci. Brzi hod potiče ravnotežu, koordinaciju, propriocepciju, kardiorespiratornu izdržljivost te pojačanje mišićne snage i izdržljivosti (ŠEHIĆ, 2014.).

### 9.2. Kas

Kas se koristi kada želimo sa pojačanjem snage kontrakcija mišića 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 (WEIGEL i MILLIS, 2014.). Ubrzavajući iz hoda u kas dolazi do značajnijeg povećanja raspona pokreta karpalnog

zgloba za otprilike 15 do 20 stupnjeva i koljenog zgloba na otprilike 55 stupnjeva (DECAMP i sur., 1993.).

### 9.3. Hodanje na pomičnoj traci

Hodanje na pomičnoj traci je korisna vježba koja se koristi za koračanje i početno poticanje opterećenja nogu nakon kirurških zahvata (ŠEHIĆ, 2014.). Njome se potiče propriocepcija, koordinacija i ravnoteža. Pomične trake mogu se upotrijebiti tijekom programa rehabilitacije kod stanja bolnih ekstenzija kuka ili koljenog zgloba. Razlika između hodanja na tlu i hodanja na pomičnoj traci je u tome što se produljuje vrijeme podupiranja i duljina koraka. Maksimalni kutovi ekstenzije, fleksije i raspona pokreta prednjih i stražnjih nogu su slični prilikom hoda na tlu ili na pomičnoj traci no maksimalna brzina fleksije zglobova je manja prilikom hodanja na pomičnoj traci. Do sporijih pokreta zglobova dolazi vjerojatno jer pomična traka potpomaže pri kretanju (WEIGEL i MILLIS, 2014.). Pomična traka može se postaviti pod kutom prema gore ili prema dolje, smanjujući povećano opterećenje prednjih ili stražnjih nogu. Nadalje, jedna studija je pručavala aktivnost mišića stražnje strane natkoljenice, glutealnih i kvadricepsovih mišića, raspon pokreta zglobova kuka i koljena pasa goniča tijekom hodanja na pomičnoj traci nagiba 5%, 0% i -5%. Dobivene rezultate uspoređivali su i sa fazama hoda. Nagib pomične trake nije utjecao na duljinu faze podupiranja i faze predvođenja, niti na cijeli korak. Kad je nagib pomične trake porastao s -5% na 5% raspon pokreta kuka se povećao, a ekstenzija koljena smanjila (LAUER i sur., 2009.). Tijekom faze podupiranja aktivnost mišića stražnje strane natkoljenice znatno je bila povećana pri hodu s nagibom od 5% u odnosu na nagibe -5% i 0%. Promjena nagiba pomične trake nije dovela do promjene u aktivnost glutealnih i kvadricepsovih mišića.

### 9.4. Hodanje uzbrdo

Tijekom oporavka, kada pas može samostalno hodati, možemo uvesti hodanje uzbrdo i penjanje uz stepenice čime povećavamo opterećenje na stražnjim nogama i jačamo ekstenzore kuka i koljena.

Hodanjem uzbrdo postizemo veći raspon pokreta na prednjim nogama nego kod penjanja uz stepenice ili kasom. Fleksija i ekstenzija ramena, ekstenzija lakta i fleksija karpusa su znatno veći prilikom hodanja uzbrdo u usporedbi s penjanjem stepenicama ili kasom. Hodanjem uzbrdo raspon pokreta ramena bio je 66 stupnjeva, dok je tijekom penjanja stepenicama bio 20 stupnjeva (CARR i sur., 2013.). U drugoj studiji, hodanje uzbrdo uzrokovalo je povećanu fleksiju kuka i smanjenu fleksiju koljena (HOLLER i sur., 2010.).

### 9.5. Hodanje nizbrdo

Kretanjem nizbrdo postizemo manju fleksiju kuka i koljena te manju fleksiju i ekstenziju tarzusa nego kod silaženja niz stepenice. Također i raspon pokreta tih zglobova je manji u odnosu na silaženje niz stepenice (MILLARD i sur., 2010.). U drugoj studiji koja je uspoređivala hodanje nizbrdo sa hodanjem po vodoravnoj površini, hodanje nizbrdo uzrokovalo je manju fleksiju kuka (HOLLER i sur., 2010.).

### 9.6. Penjanje uz stepenice

Penjanjem uz stepenice postizemo veći raspon pokreta zglobova stražnjih nogu s povećanjem od 10, 20 i 40 stupnjeva za kuk, koljeno i tarsus u usporedbi s kasom na vodoravnoj površini. Povećava se ekstenzija kuka i tarzusa (otprilike 5 do 8 stupnjeva) dok se ekstenzija koljena smanjuje ( 7 stupnjeva). Fleksija koljena i tarzusa je znatno uvećana zbog visine stepenice za 26 i 35 stupnjeva (DURANT i sur.,2011.). Što se tiče zglobova prednjih nogu postoje neke razlike između penjanja uz stepenice i kasa. Ekstenzija ramena je manja, a fleksija veća kod penjanja uz stepenice u usporedbi s kasom na tlu. Zbog ovih suprotnih efekata nema razlike u ukupnom rasponu pokret ramena. Ekstenzija, fleksija i raspon pokreta lakta te fleksija i raspon pokreta karpusa su također veći kod penjanja uz stepenice. Međutim, hodanje uzbrdo omogućuje najveće povećanje fleksije, ekstenzije i raspona pokreta zglobova prednjih nogu (CARR i sur., 2013.).

## 9.7. Silaženje niz stepenice

Silaženjem niz stepenice postizemo veći raspon pokreta stražnjih nogu, veću fleksiju koljena i veću ekstenziju i fleksiju tarzusa nego prilikom hoda nizbrdo (MILLARD i sur., 2010.). Ova terapijska vježba može biti korisna za poboljšanje raspona pokreta kod pasa s mišićno-koštanim bolestima zdjelice, a hodanje nizbrdo može biti lakši za pse s ograničenim kretanjem zglobova zdjelice.

## 9.8. „Vožnja tački“

„Vožnju tački“ izvodimo tako da stavimo ruke ispod kaudalnog abdomena psa, podižemo stražnje noge od tla i guramo psa da se kreće naprijed. Vježba pridonosi povećanju upotrebe prednjih nogu, poboljšanju propriocepcije, koordinacije i ravnoteže. Kako pas radi korake da održi ravnotežu konstantno se mijenja brzina pokreta zgloba. Duljina koraka, vrijeme stajanja i vrijeme zamaha su značajno skraćeni u usporedbi sa normalnim hodanjem iste brzine. Maksimalna vertikalna sila iznosi 91% tjelesne težine (tijekom hoda je otprilike 50%, a kasa 110%). Što se tiče kinematike zglobova, dolazi do veće ekstenzije ramena i karpalnog zgloba, veće fleksije lakta, manje fleksije ramena i karpusa te manje ekstenzije lakta nego kod hodanja. Te razlike su otprilike 10 do 15 stupnjeva. Stoga „vožnja tački“ može biti korisnija za povećanje pokreta u određenom zglobu, poput fleksije lakta, od hodanja (WEIGEL i MILLIS, 2014.).



*Slika 6. Vježba „vožnja tački“  
(preuzeto iz Weigel i Millis, 2014.)*

## 9.9. Vježba plesanja

Plesanje je vježba povećanja opterećenosti i snage stražnjih nogu. Njome se pospješuje propriocepcija, koordinacija i ravnoteža. Prednje noge se odignu od tla te se sa psom hoda naprijed ili nazad. Težina psa se premješta na stražnje noge (ŠEHIĆ, 2014.). Usporedba maksimalne vertikalne sile i vertikalnog impulsa za vrijeme izvođenja vježbe plesanja i za vrijeme kasa rezultirala je većom maksimalnom vertikalnom silom i vertikalnim impulsom u korist plesanja (WEIGEL i MILLIS, 2014.). Ovisno o smjeru kretanja prilikom izvođenja vježbe mijenja se i kinematika kretanja. Prilikom plesanja naprijed manja je fleksija i raspon pokreta kuka i tarzusa te su duljina koraka i faza predvođenja skraćeni. Plesanjem u nazad dolazi do povećanja ekstenzije kuka i fleksije koljena te smanjenja fleksije kuka, ekstenzije koljena i raspona pokreta kuka i koljena (WEIGEL i MILLIS, 2014.). Ove informacije mogu biti korisne u rehabilitaciji pasa s različitim stanjima. Na primjer, pas s displazijom kuka osjeća bol kod ekstenzije kuka pa ćemo za jačanje glutealnih mišića koristiti vježbu plesanja u naprijed umjesto u nazad.

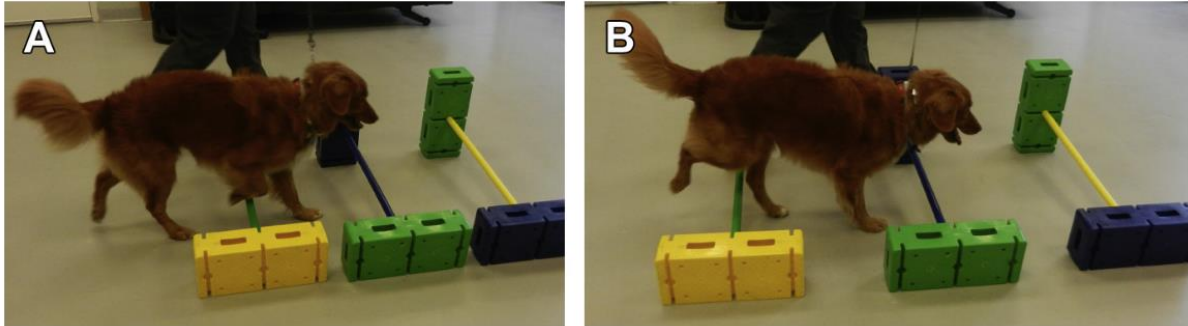


*Slika 7. Vježba plesanja  
(preuzeto iz Weigel i Millis, 2014.)*

## 9.10. Cavaletti tračnice

Cavaletti tračnice su prečke koje su međusobno razmaknute i postavljene iznad tla tako da pas korača preko njih. Kod ove vježbe se povećava duljina koraka, fleksija i raspon

pokreta koljena, lakta i tarzusa. Visinom na koju postavimo prečke možemo regulirati jačinu fleksije (WEIGEL i MILLIS, 2014.).



*Slika 8. Cavaletti tračnice*

*A) Povećana fleksija lakta; B) Povećana fleksija koljena tijekom izvođenja vježbe (preuzeto iz Drum i sur., 2015.)*

### 9.11. Sjedanje i ustajanje

Vježbe sjedanja i ustajanja pomažu u jačanju kuka i ekstenzornih mišića koljenog zgloba te poboljšavaju aktivne raspone pokreta. Radnje sjedanja i ustajanja zahtijevaju snagu glutealnih mišića, mišića kvadricepsa, tetiva koljena i skupine mišića gastroknemijusa (ŠEHIĆ, 2014.). U usporedbi s hodom, vježba sjedanja i ustajanja rezultira većom fleksijom tarzusa i skoro dvostruko većom fleksijom kuka i koljenog zgloba dok je ekstenzija manja (FEENEY i sur., 2007.). Vježba može biti osobito korisna za pse s osteoartritisom kuka i atrofijom glutealnih mišića. Ti psi osjećaju bol kod ekstenzije kuka. Vježbe sjedanja i ustajanja omogućuju aktivnu kontrakciju glutealnih mišića, no kod toga kuk nije potpuno ekstenziran do točke koja pokazuje bolnost. To omogućuje jačanje bez stvaranja pretjerane boli (WEIGEL i MILLIS, 2014.).

### 9.12. Podvodne vježbe

Prema svojstvu vode i udruženih čimbenika, podvodne vježbe svrstavamo u hidrokinetičke hidroterapijske postupke (ŠEHIĆ, 2014.). Da bi se razumijela vrijednost hidroterapije i njena primjena, potrebno je poznavati osnovna načela i svojstva vode koja uključuju relativnu gustoću, uzgon, viskoznost, otpor, hidrostatski tlak, termička svojstva vode i površinsku napetost. Pod pojmom hidroterapija prvenstveno mislimo na imerzijsku

hidroterapiju odnosno uranjanje tijela ili dijela tijela u vodu. 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. Psi koji stoje u vodi do tarzusa, koljena i kuka teže 91%, 85% i 38% svoje tjelesne težine u usporedbi s stajanjem na suhom tlu (LEVINE i sur., 2010.). To je posebno korisno kod pasa koji imaju poteškoće s nošenjem svoje težine ili imaju bolne i artritичne zglobove. Hidrostatski tlak omogućava stalni tlak na uronjeno tijelo ili pojedini ekstremitet te se na taj način mogu smanjiti otekline i bol (ŠEHIĆ, 2014.). Veliko značenje ima površinska napetost, viskoznost i otpor vode zbog kojih je kretanje u vodi teže te dolazi do ulaganja više energije u kretanje i posljedično jačanje mišića. Otpor vode je sila koja djeluje suprotno od brzine kretanja. Ovisi o gustoći vode, obliku i površini tijela. Dakle ako se brzina kretanja psa u vodi udvostruči, otpor vode će se učetverostručiti. Zbog površinske napetosti kretanje uz površinu vode zahtjeva osam puta više energije kako bi se brzina tijela udvostručila (LEVINE i sur., 2014.). Jedna studija je određivala raspon pokreta kuka, koljena i tarzusa te kutnu brzinu za vrijeme plivanja i hodanja kod zdravih pasa i pasa koji su bili podvrgnuti operaciji kranijalnog križnog ligamenta. U zdravih pasa plivanje je rezultiralo većim rasponom pokreta kuka u odnosu na hodanje, dok kod pasa sa rupturom kranijalnog križnog ligamenta nije bilo značajnih razlika. Za obje skupine pasa, plivanje je rezultiralo znatno većim rasponom pokreta koljena i tarzusa nego hodanje, prvenstveno zbog veće fleksije zglobova. Međutim, psi su za vrijeme plivanja imali manju ekstenziju koljena. Ove spoznaje korisne su u postoperativnoj rehabilitaciji pasa koji su imali rupturu kranijalnog križnog ligamenta i gubitak ekstenzije koljena jer hodanje po zemlji ili podvodnoj pomičnoj traci efikasnije vraćaju mogućnost ekstenzije koljena nego plivanje (MARSOLAIS i sur.,2003.). Dvodimenzionalnom kinematičkom analizom hoda kod pasa koji hodaju po tlu i po podvodnoj pomičnoj traci utvrđeno je da su fleksije kuka, koljena, tarzusa, ramena i lakta veće prilikom hoda u vodi nego na tlu. Općenito, fleksija zgloba će biti veća ako je razina vode u ravnini sa zglobom ili viša (LEVINE i sur., 2014.).





*Slika 9. Pas na podvodnoj pokretnoj traci  
(preuzeto iz Levine i sur., 2014.)*

## 10. RASPRAVA

Ciljevi fizikalne terapije su obnavljanje, održavanje i poboljšanje funkcionalne sposobnosti i pokretljivosti bolesnih, povrijeđenih i zdravih životinja. Fizikalna terapija primjenjuje se prije svega kod ortopedskih i neuroloških problema posljedično kirurškom, konzervativnom liječenju ili kao tretman sam za sebe. Terapija je bitna kako za sportske pse tako i za starije pse u cilju održavanja optimalne funkcije. Glavni naglasak je na sprječavanju ili minimaliziranju pojave kliničkih znakova, progresije oštećenja, funkcionalnih ograničenja i invaliditeta koji mogu biti posljedica različitih bolesti, poremećaja, stanja i ozljeda. Metode koje se koriste za fizikalnu terapiju životinja su terapijske vježbe, masaža, elektroterapija, terapija ultrazvukom, hidroterapija, krioterapija i mnoge druge. Odabir pravilnog tretmana je nužan kako bi rezultat terapije bio dobar i dugoročan.

Terapeut prikuplja funkcionalne informacije ocjenjujući fizičku sposobnost psa prilikom kretanja i mirovanja, kao i njegovo ortopedsko i neurološko zdravlje. Također ova evaluacija uključuje procjenu mišićne mase, pokretljivosti i stabilnosti zglobova, te boli. Terapeut prikuplja ove informacije kako bi razumio kako ta ograničenja utječu na funkciju i kako mogu biti ciljana tijekom terapije. Da bi lakše utvrdio uzrok zglobnih, mišićnih ili vezivno tkivnih ograničenja u pokretu, ispitivač procjenjuje krajnji osjećaj. Krajnji osjećaj je vrsta osjeta ili osjećaja koji ispitivač iskusi kada je zglob na kraju svog raspoloživog pasivnog raspona pokreta. Kraj svakog pokreta na svakom zglobu ograničen je od daljnjeg kretanja određenim anatomskim strukturama. Vrsta građe koja ograničava zglob ima karakterističan osjećaj koji može otkriti terapeut koji izvodi pasivni raspon pokreta. Taj osjećaj doživljava terapeut kao otpor ili prepreka daljnjem kretanju. Normalni krajnji osjećaj za većinu zglobova daje zglobna kapsula i odraz je male elastičnosti te kapsule. Patološki krajnji osjećaji mogu biti različiti. Primjerice, kod gubitka ekstenzije koljena nakon rupture kranijalnog križnog ligamenta krajnji osjećaj zglobne čahure je da je ona čvrsta i da je njena elastičnost smanjena (LEVINE i sur., 2005.).

Na temelju rezultata anamneze i dijagnoze te procjene funkcionalne sposobnosti i pokretljivosti razvija se i provodi plan terapije. Plan se naknadno mijenja na temelju učestalih kontrola. Plan mora biti jedinstven za pacijenta i mora uzeti u obzir sve čimbenike, kao što su starost i raspoloženje psa, ozbiljnost problema, očekivanja za buduće izvedbe, hitnost oporavka, dostupna oprema, troškovi liječenja. Terapija može uključivati kombinaciju više metoda. Terapeut odabire određenu vrstu, intenzitet, trajanje, učestalost i napredovanje tih

metoda. U početku su obično malog intenziteta i trajanja koje se postupno povećava kako napreduje ozdravljenje i raste snaga tkiva. Također je bitno imati utvrđene ciljeve liječenja ili krajnje točke za vođenje napretka. Terapeut također može primijeniti preventivne mjere. One uključuju nadgledanje težine psa, nadgledanje karakteristike površine na kojoj pas spava ili se kreće, razvijanje pravilnog perioda zagrijavanja i hlađenja, preporuke za adekvatan odmor između napornih vježbi itd. (LEVINE i sur., 2005.). Na primjer, pas s osteoartritisom koljenog zgloba može imati korist od gubitka viška kilograma, čestog vježbanja kratkog trajanja na mekim površinama, podstavljena površina na kojoj spava, primjena analgetika i lijekova koji ublažavaju simptome.

Poimanjem promjena u stavu i kretanju psa kod pojedinih patoloških stanja i postoperativnog razdoblja moguće je modificirati terapijske vježbe kako bi se postigao maksimalan učinak. Kod pacijenata s poremećajem propriocepcije možemo potaknuti propriocepciju kretanjem po raznim podlogama poput spužve, trampolina i daske za ravnotežu. Ako pacijent ima većih problema sa stabilnošću možemo koristiti čvrste podloge poput poda. Povećavanjem težine koju noga nosi postizemo jačanje mišića. Isto tako ako povećamo krak sile, povećavamo i silu potrebnu za pokretanje noge. Ako je mišić slab, možemo postaviti elastičnu traku proksimalno na nogu. Kako mišić jača, pomičemo traku distalno s čime povećavamo krak sile (WEIGEL i MILLIS, 2014.) U obzir treba uzeti i brzinu izvođenja vježbe kao i položaj noge, pogotovo kada se radi o mišićima koji prelaze preko dva zgloba. Zbog pasivne napetosti mišića, tetive koljena (semimembranosus, 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 planiranja i izvođenja vježbi istezanja i vježbi pasivnih pokreta bitno je znati gore navedeno kao i položaj ruku fizioterapeuta iz 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. Za mijenjanje mišićnog odgovora može se koristiti senzorna facilitacija ili inhibicija. 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 psa na podlogu te ga lagano i u ritmu pritišćemo. Na taj način stvaramo kompresiju i dekompresiju zglobova koje posljedično uzrokuju aktivaciju ekstenzornih mišića, povećanu stabilnost zglobova i veći raspon pokreta.

## 11. ZAKLJUČAK

Primjena biomehanike pruža osnovno znanje za razumijevanje dijagnostičkih i evaulacijskih metoda, modaliteta liječenja i patoloških učinaka pogođenog mišićno-koštanog sustava. Biomehanički pristup zasniva se na kvantifikaciji i proračunima te nam omogućuje objektivnu procjenu stanja lokomotornog sustava. Dodatno nam pomaže kod odabira terapije, procjene rezultata terapije, oporavka ili progresije bolesti, te nam jednako tako pomaže u preventivnim mjerama i kod optimizacije izvedbe.

Zbog svega navedenog moje mišljenje je da je biomehanika temelj novog pristupa u fizikalnoj medicini i rehabilitaciji i da će se sa daljnjim razvojem tehnologije i znanosti općenito, sigurno razvijati.

## 12.LITERATURA

1. ALLEN K., C. E. DECAMP, T. D. BRADEN, M. BAHNS (1994): Kinematic gait analysis of the trot in healthy mixed breed dogs, *Vet Comp Orthop Traumatol* 7, 148-153.
2. ARNOLD G. A., D. L. MILLIS, P. SCHWARTZ, et al (2005): Three dimensional kinematic motion analysis of the dog at a walk. 32nd Annual Conference: Veterinary Orthopedic Society, Snowmass, CO.
3. BUDSBERG S. C., J. N. CHAMBERS, S. L. LUE, T. L. FOUTZ, L. REECE (1996): Prospective evaluation of ground reaction forces in dogs undergoing unilateral total hip replacement, *Am J Vet Res* 57 (12), 1781-5.
4. BUDSBERG S. C., M. C. VERSTRAETE, R. W. SOUTAS-LITTLE, G. L. FLO, C. W. PROBST (1988): Force plate analyses before and after stabilization of canine stifles for cruciate injury, *Am J Vet Res* 49 (9), 1522-4.
5. CARR J. G., D. L. MILLIS, H. Y. WENG (2013): Exercises in canine physical rehabilitation: range of motion of the forelimb during stair and ramp ascent, *Journal of Small Animal Practice* 54, 409-413.
6. DECAMP C. E. (1997): Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog, *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 27 (4), 825-840.
7. DECAMP C. E., R. W. SOUTAS-LITTLE, J. HAUPTMAN, B. OLIVIER, T. BRADEN, A. WALTON (1993): Kinematic gait analysis of the trot in healthy Greyhounds, *Am J Vet Res* 54 (4), 627-34.
8. DRUM M. G., D. J. MARCELLIN-LITTLE, M. S. DAVIS (2015): Principles and Applications of Therapeutic Exercises for Small Animals, *Vet Clin Small Anim* 45, 73-90.
9. DURANT A. M., D. L. MILLIS, J. F. HEADRICK (2011): Kinematics of stair ascent in healthy dogs, *Vet Comp Orthop Traumatol* 24, 99-105.
10. FEENEY L. C., C-F. LIN, D. J. MARCELLIN-LITTLE, A. R. TATE, R. M. QUEEN, B. YU (2007): Validation of two-dimensional kinematic analysis of walk and sit-to-stand motions in dogs, *Am J Vet Res* 68, 277-282.
11. GOFF J. P. (2015): Minerals, Bones and Joints: Cartilage, Bones and Joints. U Dukes' Physiology of Domestic Animals (Reece, W. O., H. H. Erickson, J. P. Goff, E. E. Uemura, Ur.), , Thirteenth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 593-614.

12. GUYTON, A. C., J. E. HALL (2017): Kontrakcija skeletnog mišića. U Medicinska fiziologija – udžbenik (Guyton, A. C., J. E. Hall, Ur.), Zagreb: Medicinska naklada, 75-88.
13. HOLLER P. J., V. BRAZDA, B. DAL-BIANCO, E. LEWY, M. C. MUELLER, C. PEHAM, B. A. BOCKSTAHLER (2010): Kinematic motion analysis of the joints of the forelimbs and hind limbs of dogs during walking exercise regimens, *Am J Vet Res* 71, 734-740.
14. HOTTINGER H. A., C. E. DECAMP, N. B. OLIVIER, J. G. HAUPTMAN, R. W. SOUTAS-LITTLE (1996): Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs, *Am J Vet Res* 57 (3), 381-8.
15. LAUER S. K., R. B. HILLMAN, L. LI, G. L. HOSGOOD (2009): Effects of treadmill inclination on electromyographic activity and hind limb kinematics in healthy hounds at a walk, *Am J Vet Res* 70, 658-664.
16. LEVINE D., D. J. MARCELLIN-LITTLE, D. L. MILLIS, V. TRAGAUER, J. A. OSBORNE (2010): Effects of partial immersion in water on vertical ground reaction forces and weight distribution in dogs, *Am J Vet Res* 71 (12), 1413-6.
17. LEVINE D., D. L. MILLIS, D. J. MARCELLIN-LITTLE (2005): Introduction to Veterinary Physical Rehabilitation, *Vet Clin Small Anim* 35, 1247-1254.
18. LEVINE D., D. L. MILLIS, J. FLOCKER, L. MACGUIRE (2014): Therapeutic Exercise and Manual Therapy: Aquatic Therapy. U *Canine Rehabilitation and Physical Therapy* (Millis, D., D. Levine, Ur.), Philadelphia: Saunders, an imprint of Elsevier Inc., 526-542.
19. LIEBICH H.-G., G. FORSTENPOINTNER, H. E. KÖNIG (2009): Uvod i opća anatomija: Sustav organa za kretanje. U *Anatomija domaćih sisavaca - Udžbenik i atlas* (König, H. E. i H.-G. Liebich, Ur.), Zagreb: Naklada Slap, 1-48.
20. MARSOLAIS G. S., S. MCLEAN, T. DERRICK, M. G. CONZEMIUS (2003): Kinematic analysis of the hind limb during swimming and walking in healthy dogs and dogs with surgically corrected cranial cruciate ligament rupture, *J Am Vet Med Assoc* 222, 739-743.
21. MCLAUGHLIN R. M., C. W. MILLER, C. L. TAVES, T. C. HEARN, N. C. PALMER, G. I. ANDERSON (1991): Force plate analysis of triple pelvic osteotomy for the treatment of canine hip dysplasia, *Vet Surg* 20 (5), 291-7.

22. MILLARD R. P., J. F. HEADRICK, D. L. MILLIS (2010): Kinematic analysis of the pelvic limbs of healthy dogs during stair and decline slope walking, *J Small Anim Pract* 51 (8), 419-422.
23. NIKOLIĆ, V., M. HUDEC, G. HUDEC (2011): Principi biomehanike, Ljevak, Zagreb.
24. PRANKEL S., M. CORBETT, J. BEVINS, J. DAVIES (2016): Biomechanical analysis in veterinary practice, *In Practice* 38, 176-187.
25. REECE W. O. (2015): Muscle Physiology: Physiology of Skeletal Muscle U Dukes' Physiology of Domestic Animals (Reece, W. O., H. H. Erickson, J. P. Goff, E. E. Uemura, Ur.), Thirteenth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 263-273.
26. ŠEHIĆ M. (2014): Hidroterapija. U Fizikalna terapija i rehabilitacija psa (Šehić, M., Ur.), Zagreb: Veterinarski fakultet, 141-147.
27. ŠEHIĆ M. (2014): Terapijske vježbe. U Fizikalna terapija i rehabilitacija psa (Šehić, M. Ur.), Zagreb: Veterinarski fakultet, 65-83.
28. TEHNIČKI LEKSIKON (2007) Sila. Zagreb: Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 788.
29. TOBIAS, K., S. JOHNSTON (2012): Veterinary Surgery: Small Animal. 1st Edition. Philadelphia: Saunders, 1190-1199.
30. WEIGEL, J. P., D. MILLIS (2014): Therapeutic Exercise and Manual Therapy: Biomechanics of Physical Rehabilitation and Kinematics of Exercise. U Canine Rehabilitation and Physical Therapy (Millis, D., D. Levine, Ur.), Philadelphia: Saunders, an imprint of Elsevier Inc., 401-430.
31. WEIGEL, J. P., G. ARNOLD, D. A. HICKS, D. L. MILLIS (2005): Biomechanics of Rehabilitation, *Vet Clin Small Anim* 35, 1255-1285.

### 13. SAŽETAK

Biomehanika je interdisciplinarna znanost koju možemo definirati kao objedinjenje fizike i biologije, razmatranje utjecaja dinamike i statike na funkciju lokomotornog sustava te primjena svega navedenog u rješavanju medicinskih problema. Biomehnikom uspijevamo dobiti preciznije rezultate na temelju kojih možemo ustanovit razna odstupanja od fizioloških kretnji lokomotornog sustava i uspješnije odrediti i prilagoditi terapiju prema potrebama pacijenta. Osnovna funkcija lokomotornog sustava je da omogući kretanje te daje mehaničku potporu organizmu. Kostu su poluge na koje djeluju s jedne strane mišići, a s druge sila teža. Središta vrtnje nalaze se u zglobovima. Sila mišića se protivi težini promatranog dijela tijela u cilju održavanja ravnoteže. Statika i dinamika u analizi pokreta i držanja su vrlo bliske i teško je razumjeti jedno bez drugog. Kinematika opisuje gibanje iz perspektive položaja i vremena. 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 sila koje se javljaju prilikom kretanja tijela. Kinetičkom analizom fokusiramo se na vertikalnu i horizontalnu silu koja nastaje prilikom oslanjanja noge na tlo, stopu opterećenja i raspodjelu sila. Navedeni pokazatelji nam mogu biti indikatori hromosti, odnosno stupnja opterećenja pojedinog ekstremiteta pri stajanju i različitim fazama kretanja. Općenito, biomehaničkom analizom dobivamo parametre koji su ključni za dijagnostiku patoloških stanja lokomotornog sustava, otklanjanje tih stanja i vraćanje ka fiziološkim vrijednostima. Postoje razne metode koje se koriste za fizikalnu terapiju životinja. Veliku ulogu u rehabilitaciji imaju terapijske vježbe kojima se vraća opseg pokreta, ravnoteža, pokretljivost i snaga. Poznavanje njihovih prednosti s gledišta biomehanike uvelike nam olakšava odabir.

Ključne riječi: biomehanika, mišićno-koštani sustav, kinematika, kinetika, terapijske vježbe, pas



## 14. SUMMARY

### **Biomechanics of therapeutic exercise in dogs**

Biomechanics is an interdisciplinary science that can be defined as the unification of physics and biology, consideration of the influence of dynamics and statics on the function of the locomotor system and, ultimately, the application of the aforementioned in solving medical problems. Biomechanics allows us to obtain more precise results on the basis of which we can determine various deviations from the physiological movements of the locomotor system and by which we can more successfully establish and adjust the therapy according to the patient's needs. The basic function of the locomotor system is to enable movement and provide mechanical support to the body. Bones are levers that are affected by muscles on one side and gravity on the other. The centers of rotation are located in the joints. Force generated by muscles opposes the weight of the observed part of the body in order to maintain balance. The statics and dynamics in the analysis of movement and posture are very closely connected and it is difficult to understand one without the other. Kinematics describes motion from the perspective of position and time. Kinematic analysis is very useful in validation of lameness and gait symmetry. It is based on two-dimensional and three-dimensional motion recording and measurement of displacement, joint angles, velocity, and acceleration. Kinetics studies motion through forces that occur when a body moves. Kinetic analysis is focused on the generation of the vertical and horizontal force, while the limbs are in contact with the ground, the load rate, and the force distribution. These indicators can be indicators of lameness, the degree of load on each limb while standing or during the different phases of movement. In general, biomechanical analysis provides parameters that are crucial for the diagnosis of pathological conditions of the locomotor system, elimination of these conditions and return to physiological values. There are various methods used for physical therapy of animals. Therapeutic exercises that restore range of motion, balance, mobility and strength play a major role in rehabilitation. Knowing their advantages from a biomechanics point of view makes our selection much easier.

Key words: biomechanics, musculoskeletal system, kinematics, kinetics, therapeutic exercises, dog

## 15. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 21.10.1994. u Zagrebu. Pohađala sam Osnovnu školu Augusta Šenoae te XI. Gimnaziju u Zagrebu. Završila sam i Osnovnu glazbenu školu Rudolfa Matza, instrument gitaru. Veterinarski fakultet u Zagrebu upisala sam 2013. godine. Na drugoj godini studija bila sam demonstrator na Zavodu za anatomiju, histologiju i embriologiju. Volontirala sam u Veterinarskoj ambulanti „Šapa“ i u Veterinarskoj ambulanti „Buba“ u Zagrebu, gdje sam i odradila terensku stručnu praksu u okviru 12. semestra. Tijekom studija sudjelovala sam na raznim narodnim i međunarodnim kongresima, među kojima bih istaknula Istočnoeuropsku regionalnu veterinarsku konferenciju u Zagrebu na kojoj sam volontirala.