

# ructus



Revija študentov Veterinarske fakultete Univerze v Ljubljani / številka 46 / februar 2026

**PRAŠIČJA  
INFLUENCA**

**ANESTEZIOLOGIJA  
EKZOTIČNIH ŽIVALI**

**KRONIČNA  
BOLEZEN  
LEDVIC**

# SKUPAJ V SKRBI ZA ZDRAVJE ŽIVALI

Naše stranke postavljamo na prvo mesto, raziskujemo in prepoznavamo njihove potrebe in izzive ter jim nudimo najustreznejše rešitve. Naš cilj je ponuditi kakovostne izdelke, ter prilagodljive rešitve, ter na zaupanju in spoštovanju graditi dolgoročne poslovne odnose.



V Skupini Salus zagotavljamo celovito oskrbo slovenskega trga z zdravili, veterinarskimi izdelki, medicinskimi pripomočki in drugimi izdelki, ki pripomorejo k zdravju in dobremu počutju. nenehno si prizadevamo za izboljšanje naše ponudbe, da zagotovimo optimalno storitev po meri naših partnerjev.



# KANZALO

- 4 UVODNIK
- 6 PREGLED BIOMARKERJEV KRONIČNE BOLEZNI LEDVIC PRI PSIH IN MAČKAH
- 18 PRIMERJAVA VPLIVA OBSEGA KIRURŠKEGA POSEGA NA IZVEDBO CARSKEGA REZA PRI PSICAH
- 28 EPIDEMIOLOGIJA, PREPREČEVANJE IN NADZOR BOLEZNI MODRIKASTEGA JEZIKA PRI PREŽVEKOVALCIH
- 31 DIAGNOSTIKA IN UKREPI PRI BRUCELOZI
- 36 PRAŠIČJA INFLUENCA IN JAVNO ZDRAVJE
- 42 ANESTEZIOLOGIJA EKSOTIČNIH ŽIVALI
- 48 AKSOLOTL (*Ambystoma mexicanum*): ANATOMIJA, REGENERACIJA IN VPLIV ŠČITNIČNIH HORMONOV NA METAMORFOZO
- 56 PLAVALNI MEHUR PRI RIBAH KOSTNICAH: ZGRADBA, FUNKCIJE IN EVOLUCIJSKE PRILAGODITVE
- 62 UŽITNE ŽUŽELKE V KRMI ZA ŽIVALI IN INVESTICIJSKI POTENCIAL
- 76 IVSA SLOVENIA IN NADALJEVANJE TRADICIJE

Odgovorna urednica: Ema Srebrnjak  
 Oblikovanje in prelom: Klara Sekavčnik  
 Lektura: Klemen Jelinčič Boeta  
 Fotografija na naslovnici: Anja Rebec

Revija študentov Veterinarske fakultete Univerze v Ljubljani  
 Gerbičeva 60, 1000 Ljubljana  
 Tisk: Belin Grafika, knjigovoznica in tiskarna, d.o.o.  
 Naklada: 350  
 ISSN: C501-221X



<https://www.vf.uni-lj.si/izobrazevanje/studentska-revija-ructus>

Svoje predloge, ponudbe, članke ali vprašanja pošljite na: [revija.ructus@gmail.com](mailto:revija.ructus@gmail.com)



# UVODNIK

## *Učenje, ki presega knjige*

Vsako leto znova odpiramo veterinarske knjige, beremo strokovne članke in poslušamo predavanja priznanih strokovnjakov. Ob vsem tem pa včasih pozabimo, da dragocene izkušnje pridobivamo tudi tam, kjer ni ocen in zbiranja točk. To so trenutki, ko skupaj iščemo odgovore, ko nekdo ob nas razume naš strah in negotovost, ko tudi sami priznamo, da nečesa ne znamo.

Študij veterine ni tekma, temveč priložnost, da ustvarimo okolje, v katerem si upamo rasti. K temu pripomore vsak nasmeh profesorja, vsako pritoževanje med odmori in vsaka sfaljena diagnoza, ki jo je s skupnimi močmi samozavestno oblikovala celotna skupina študentov.

Letošnji Ructus znova dokazuje, da lahko ustvarimo nekaj resnično lepega, ko se znanja, želje in zanimanja med seboj prepletejo. In zato je prav, da se vsako leto opomnimo: veterina ni le poklic. Je način, kako biti človek – s knjigo v roki in sočutjem v srcu.

Na tem mestu ne morem mimo svojega čudovitega 4. letnika, ki vsakokrat znova pokaže, kako kolegialnost in sodelovanje gradita sanjsko skupnost in veterino, kakršno si vsi želimo – srčno, polno medsebojne podpore in smeha.

Naj vas torej to branje opomni, da znanje raste tam, kjer se deli!

Ema Srebrnjak,  
urednica revije Ructus

*Ema Srebrnjak*



Fotografije: Anja Rebec



# PREGLED BIOMARKERJEV KRONIČNE BOLEZNI LEDVIC PRI PSIH IN MAČKAH

Avtorice: Ema Srebrnjak, študentka Veterinarske fakultete, Univerza v Ljubljani, asist. dr. Martina Krofič Žel, Klinika za male živali, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani, prof. dr. Alenka Nemec Svete, Klinika za male živali, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## IZVLEČEK

Kronična bolezen ledvic (CKD, angl. *chronic kidney disease*) je pogosta presnovna motnja s progresivnim potekom in poznim izražanjem kliničnih znakov, hkrati pa z uporabo klasičnih laboratorijskih biomarkerjev bolezen diagnosticiramo, ko je nepovratno prizadet velik odstotek ledvičnega parenhima. Te značilnosti so razlog za intenzivno iskanje novejših in učinkovitejših krvnih in urinskih diagnostičnih biomarkerjev. V klinični praksi najpogosteje določamo serumsko koncentracijo kreatinina in simetričnega dimetilarginina (SDMA); slednji se poviša že ob 25–40 % zmanjšanju glomerulne filtracije. Določanje koncentracije sečnine v serumu se v diagnostiki CKD uporablja vse redkeje, saj na njeno koncentracijo v krvi vplivajo številni drugi dejavniki, ki niso vedno povezani z ledvično funkcijo. V članku so poleg omenjenih markerjev povzeta tudi trenutna spoznanja o nekaterih novih potencialnih biomarkerjih, predvsem fibroblastnem rastnem dejavniku 23 (FGF-23), indoksil sulfatu in cistatinu C, ki bi lahko v prihodnje prispevali k zgodnejši diagnostiki, boljšemu spremljanju poteka bolezni in individualizaciji zdravljenja.

Ključne besede: CKD; biomarkerji; sečnina; kreatinin; SDMA; FGF-23; indoksil sulfat; cistatin C.

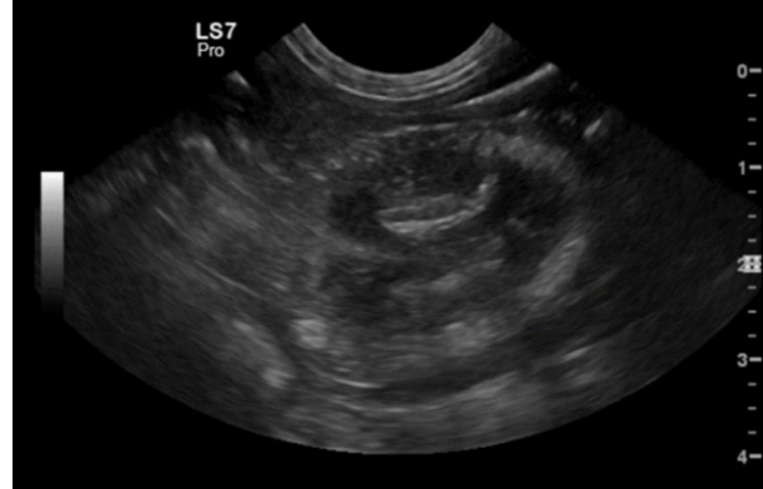
## UVOD

Kronična bolezen ledvic (CKD, angl. *chronic kidney disease*) je progresivno obolenje, ki se lahko razvija

tudi več let (1). Klinični znaki se običajno pojavijo, ko je ireverzibilno poškodovanih več kot 75 % nefronov. Mednje sodijo poliurija in polidipsija (PU/PD), bruhanje, razjede po ustni votlini, letargija, anoreksija, inapetenca, izguba telesne mase, dehidracija in driska (2, 3). Poliurija in polidipsija nista specifična klinična znaka zgolj za CKD, temveč ju opazamo tudi pri številnih drugih patoloških stanjih, kot so pielonefritis, piometra, hipertireoidizem, hiperadrenokorticism (Cushingov sindrom in Cushingova bolezen), hipoadrenokorticism (Addisonova bolezen), diabetes mellitus, diabetes insipidus, primarna renalna glikozurija, hiperkalcemija, bolezen jeter ter primarna (psihogena) polidipsija (4). Natančna diagnostika je ključna za



Slika 1: Mačka s končno stopnjo kronične bolezni ledvic: opazna je kaheksija in nesvetleča dlaka



Slika 2: Ultrazvočni posnetek ledvice mačke s kroničnim nefritom: med skorjo in sredico je hiperehogen pas

ustrezno razmejitev med temi stanji, saj se pristopi k zdravljenju bistveno razlikujejo glede na etiologijo. Uremija – končni stadij bolezni – se razvije, ko je poškodovanih več kot 90 % nefronov. V primeru uremije je lahko moteno delovanje kateregakoli organa (živčno – mišični sistem, obtočila, prebavila) (1).

Poznani vzroki za CKD so: kronični pielonefritis, kronični glomerulonefritis, hipertenzija, nefroskleroza, stenoza renalne arterije, spremembe v vezivu (sistemski *lupus erythematosus*), kongenitalne in dedne motnje (policistična bolezen ledvic), presnovne motnje (diabetes mellitus, hiperparatireoidizem, amiloidoza), toksična nefropatija (nekateri antibiotiki, analgetiki) ter obstruktivna nefropatija (1).

Zdravljenje vključuje uvedbo diete z nižjo vsebnostjo beljakovin, fosforja, natrija, višjim deležem v vodi topnih vitaminov in vlaknin. Dodajamo tudi omega-3 maščobne kisline, antioksidante in kalij (5). Poleg tega zagotavljamo ustrezno hidracijo ter simptomatsko zdravimo zaplete, kot so sistemska hipertenzija, proteinurija, anemija in gastrointestinalni znaki (2). Zaenkrat še ni znano, ali zgodnja uvedba zdravljenja in diete pomembno vpliva na upočasnitev napredovanja CKD (5).

V raziskavi preučevanja vpliva ledvične diete pri mačkah z začetno stopnjo CKD niso ugotovili razlike v serumski koncentraciji SDMA (simetrični dimetilarginin), razmerjem med koncentracijo beljakovin in kreatinina v urinu (UPC, angl. *urinary protein-to-creatinine ratio*) in relativno gostoto urina (USG, angl. *urine specific gravity*) med mačkami, ki so prejemale dieto, in tistimi, ki so prejemale običajno hrano (6). Ugotovili pa so značilno negativno povezavo med SDMA in relativno gostoto urina. Preizkusno obdobje je trajalo 3 mesece. Hall in sodelavci so v 6-mesečni raziskavi ugotovili postopen porast serumske koncentracije SDMA pri mačkah z začetno stopnjo CKD ne glede na to, ali so prejemale ledvično dieto ali ne. Hkrati so ugotovili,



Slika 3: Ultrazvočni posnetek ledvice psice s pielonefritom: razširjen votli sistem

da se je serumska koncentracija kreatinina hitreje povečala pri mačkah, ki diete niso prejemale (7).

V skladu s strokovnimi smernicami za določanje stopnje CKD (8) uporabljamo koncentracijo kreatinina in SDMA v serumu. Podstopnje CKD določamo na podlagi prisotnosti proteinurije, ki jo ovrednotimo s pomočjo vrednosti razmerja UPC. Koncentracijo beljakovin in kreatinina v urinu izmerimo spektrofotometrično z biokemijskim analizatorjem in uporabo ustreznih reagentov (9). Uporaba urinskih lističev ne zadostuje, saj lahko vodi do lažno povišanih vrednosti proteinurije, poleg tega pa z njimi ni mogoče zanesljivo določiti koncentracije albuminov v urinu, kadar ta znaša pod 0,3 g/L (mikroalbuminurija). Mikroalbuminurija predstavlja potencialno pomemben marker za zgodnje odkrivanje ledvičnih bolezni. Raziskava pri mačkah, ki je preučevala razmerje med kreatininom in albumini v urinu kot napovedovalec razvoja azotemije



Slika 4: Merjenje sistemskega krvnega tlaka pri mački

v obdobju 12 mesecev, ni pokazala prednosti tega parametra pred standardnim razmerjem UPC (10). Pred interpretacijo proteinurije je potrebno opraviti mikroskopski pregled urinskega sedimenta, da izključimo proteinurijo kot posledico vnetnega procesa ali krvavitve v urinarnem traktu. Prav tako je potrebno izključiti disproteinemije (8). Pri pacientih z vztrajno proteinurijo brez prisotnosti azotemije je to lahko znak začetne stopnje ledvične bolezni. Za natančno določitev podstopnje je priporočljivo uporabiti najmanj dva urinska vzorca, odvzeta v razmiku vsaj dveh tednov. Pri mačkah in psih brez ali z mejno proteinurijo (po smernicah IRIS (International Renal Interest Society) (8) UPC 0,2 do 0,4 pri mačkah in 0,2 do 0,5 pri psih) moramo UPC ponovno oceniti v roku dveh mesecev. Z določanjem sistemskega krvnega tlaka ocenjujemo tveganje za poškodbo tarčnih organov. Mejne vrednosti je potrebno prilagoditi posameznim pasmam; tako je na primer višji krvni tlak fiziološko značilen za hrte. Potrebno je opraviti več meritev, idealno v različnih dneh. Če to ni izvedljivo, je priporočljivo, da med posameznimi meritvami mineta vsaj dve uri (3, 8).

Hipokaliemija je pogostejša pri mačkah kot pri psih in je običajno posledica izgube kalija z urinom, aktivacije sistema renin-angiotenzin-aldosteron (RAAS), povečane proizvodnje aldosterona ter zmanjšane vnosa zaradi neješčnosti in bruhanja. Pri mačkah je hipokaliemija dejavnik tveganja za razvoj hipertenzije. Pri perzistentni hipokaliemiji ob odsotnosti azotemije je priporočljivo spremljanje sistemskega krvnega tlaka in merjenje koncentracije plazemskega aldosterona. Hipernatriemija je običajno posledica dehidracije. Pri CKD se sočasno zmanjša koncentracija kalcija in poveča koncentracija anorganskega fosfata (3).

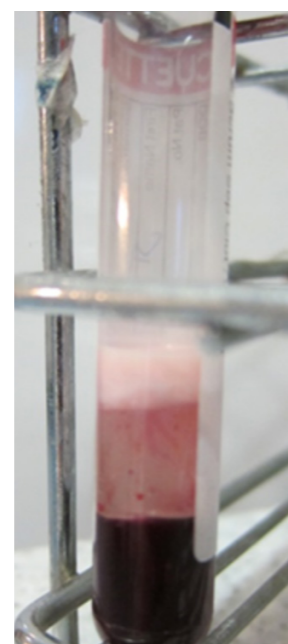
## SEČNINA

Sečnina je končni, glavni, produkt presnove beljakovin. Nastaja v jetrih, v ciklusu sečnine, iz ogljikovega dioksida in amoniaka. Serumska koncentracija sečnine velja za nezanesljiv biomarker kronične ledvične bolezni, saj na njeno koncentracijo vpliva več različnih dejavnikov (3). Povišane koncentracije v serumu so lahko posledica dehidracije, zmanjšane minutnega volumna srca, povečanega vnosa beljakovin (npr. po hranjenju), gastrointestinalnih krvavitev, pireksije, zdravljenja z glukokortikoidi ter katabolnih bolezenskih stanj. Znižane koncentracije so značilne pri podhranjenih živalih, ob uživanju hrane z nizko vsebnostjo beljakovin, pri jetrni odpovedi ter pri prisotnosti portosistemskih

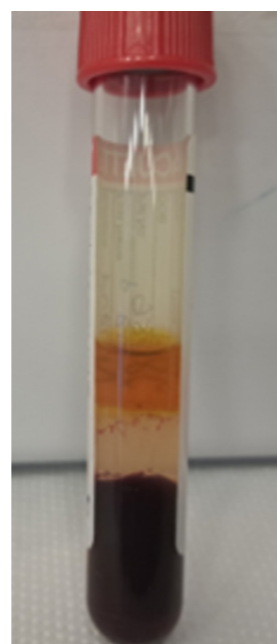
šantov (3). Preiskavo lahko moti tudi lipemični vzorec (slika 5) (11). Lipemija je lahko posledica hiperlipidemije, akutnega pankreatitisa, diabetesa mellitusa, hipotireoidizma, hiperadrenokortizma, bolezni jeter, nefropatije, določenih zdravil (kortikosteroidi, progestageni), lahko se pojavi tudi po jedi (12, 13, 14).

## KREATININ

Kreatinin je razgradni produkt, ki nastaja spontano, z neencimsko reakcijo, iz fosfokreatina v mišicah, zato je njegova dnevna tvorba v veliki meri odvisna od mišične mase. Kreatinin nima ledvičnega praga, zato je njegova koncentracija v serumu odvisna od hitrosti nastajanja in predvsem od hitrosti glomerulne filtracije (15). Koncentracija kreatinina v serumu je obratno sorazmerna s hitrostjo glomerulne filtracije. Serumska koncentracija kreatinina je najpogostejše uporabljen biomarker za diagnostiko CKD pri psih in mačkah. Pri interpretaciji njegovih koncentracij je potrebno upoštevati več dejavnikov, kot so dehidracija, mišična masa (pri kahektičnih in geriatričnih pacientih so koncentracije nižje), delež mesa v prehrani, pasma (hrti imajo fiziološko višje koncentracije), spol in starost (nižje koncentracije pri mlajših in geriatričnih živalih). Pri starosti je vpliv verjetno povezan z zmanjšano mišično maso. Višje koncentracije kreatinina so lahko prisotne pri mačkah pasme birmanka, vendar ni jasno, ali gre za pasemsko predispozicijo k CKD ali za fiziološko višje koncentracije pri zdravih živalih. Prav tako imajo večji psi običajno višje koncentracije kreati-



Slika 5: Lipemični serum



Slika 6: Ikterični serum

nina, kar je najverjetneje povezano z večjo mišično maso in sočasno nižjo glomerulno filtracijo (3, 5, 16, 17). Na merjenje koncentracije kreatinina imajo zelo velik vpliv nekateri metodološki predanalitski dejavniki, predvsem prisotnost hiperbilirubinemije oziroma ikterični vzorec (slika 6). Povečana serumska koncentracija bilirubina namreč znatno zniža koncentracijo kreatinina v vzorcu seruma v primeru uporabe alkalnega pikrata (Jaffe metoda) za merjenje koncentracije kreatinina. Bilirubin se v alkalnih pogojih oksidira v biliverdin, kar povzroči zmanjšano absorbanco pri 510 nm (vrh absorbanke kreatinin pikratnega kompleksa) in povečano absorbanco pri 630 nm (vrh absorbanke biliverdina), kar povzroči lažno nizko izmerjeno koncentracijo kreatinina v vzorcu seruma (15, 18).

Pri oceni koncentracije kreatinina v serumu je ključno upoštevati ne le absolutno vrednost glede na referenčni interval, temveč tudi njeno spreminjanje skozi čas. Postopen porast koncentracije lahko kaže na napredujočo izgubo ledvične funkcije, četudi koncentracije ostajajo znotraj referenčnih meja. Ob zaznanem porastu je najprej potrebno izključiti prerrenalne in postrenalne vzroke azotemije. Šele po izključitvi teh dejavnikov lahko začnemo razmišljati o CKD in žival, skladno s smernicami IRIS (8), uvrstimo v prvo stopnjo CKD. Če se koncentracija kreatinina v serumu v obdobju nekaj let poveča za 53,1–106,1  $\mu\text{mol/L}$ , lahko to kaže na zmanjšanje glomerulne filtracije za najmanj 50 %. Kljub temu so lahko koncentracije kreatinina še vedno znotraj meja referenčnih vrednosti. Majhne spremembe koncentracije kreatinina zato lahko odražajo znatno zmanjšano ledvično funkcijo. Prav tako je znano, da se njegove koncentracije niso razlikovale med mačkami s hiperfosfatemijo in normofosfatemijo (3, 19, 20).

Pri zmanjšani ledvični funkciji se kreatinin delno izloča tudi preko prebavil, kjer je tudi podvržen razgradnji s strani črevesne mikroflore. Zaradi tega je koncentracija kreatinina v krvi lahko nižja, kot bi pričakovali glede na stopnjo ledvične okvare, kar lahko vodi v napačno oceno ledvične funkcije. Tudi druge kronične bolezni, zlasti maligne novotvorbe ter bolezni, povezane z izgubo beljakovin, lahko zaradi zmanjšane mišične mase vodijo v podcenjevanje prisotne ledvične okvare (3, 16).

## SDMA

Simetrični dimetilarginin je stranski produkt intranuklearne metilacije argininskih ostankov v belja-

kovinah s pomočjo encima protein-arginin metiltransferaze. Skupaj z monometil-argininom (MMA) in asimetričnim dimetilargininom (ADMA) predstavlja eno izmed treh glavnih oblik metiliranega arginina. Medtem ko ADMA deluje kot endogeni zaviralec encima dušikov oksid sintaze (NOS) in s tem sinteze dušikovega oksida (NO), SDMA ni neposreden zaviralec, vendar lahko tekmuje z L-argininom za transport preko celičnih membran, kar posredno zmanjša sintezo NO (5). Le manjši delež ADMA ( $\leq 20\%$ ) se nespremenjen izloči preko ledvic, medtem ko se preko njih izloči več kot 90 % SDMA. Koncentracije plazemskega SDMA in ADMA so bile pri mačkah s CKD povišane in v korelaciji s koncentracijo kreatinina v krvi, kar podpira idejo o potencialnih biomarkerjih CKD. Koncentracije SDMA v krvi se dvignejo že ob 25–40 % zmanjšanju glomerulne filtracije (5, 16). Več kot polovica mačk, starejših od 15 let, in približno 40 % psov v isti starostni skupini ima povišane koncentracije SDMA (16). Drugi avtorji so poročali, da je prevalenca za CKD pri mačkah, starejših od 15 let, kar 86,2 % (večinoma 1. in 2. stopnja) (21). Simetrični dimetilarginin je primeren za diagnostiko in spremljanje nadaljnega razvoja bolezni. Trajno povišane koncentracije SDMA ob sočasnih koncentracijah kreatinina  $<123,8 \mu\text{mol/L}$  (psi) oziroma  $<141,5 \mu\text{mol/L}$  (mačke) lahko nakazujejo na prvo stopnjo CKD (5, 16, 17, 22).

Pri živalih s CKD se je koncentracija serumskega SDMA zvišala prej kot koncentracija kreatinina; pri psih 9,8 mesecev (razpon: 2,2–27 mesecev) in pri mačkah 17 mesecev (razpon: 1,5–48 mesecev). Vse vključene mačke so bile uvrščene v 1. ali 2. stopnjo po IRIS klasifikaciji, brez prisotnosti proteinurije ali pa je bila le-ta mejna (16). Hall in sodelavci so ugotovili, da je bolezen sčasoma napredovala v azotemično obliko, če je bila koncentracija SDMA višja od 14  $\mu\text{g/dL}$  (5). V isti raziskavi niso imeli primera, kjer bi bile koncentracije SDMA v fizioloških mejah ob sočasnem kreatininu izven referenčnega intervala (5). V drugi študiji (17) so se koncentracije SDMA pred kreatininom povišale le nekaj tednov prej. Prav tako so ugotovili, da se bo koncentracija SDMA dvignila pred koncentracijo kreatinina, če opazujemo le absolutne vrednosti. Če pa bi spremljali porast teh markerjev, obstaja možnost, da bi spremembe v ledvični funkciji hitreje opazili na podlagi merjenja koncentracije kreatinina (5, 16, 17).

Povečana serumska koncentracija SDMA ob normalni koncentraciji kreatinina v serumu torej lahko nakazuje na začetno stopnjo CKD. Večina živali ima v zgodnjih fazah CKD koncentracije SDMA med 15 in 20  $\mu\text{g/dL}$ , medtem ko koncentracije nad 20  $\mu\text{g/dL}$

dL navadno spremljajo napredovane oblike bolezni skupaj s povišano koncentracijo kreatinina (16). Referenčna vrednost zdravih živali je  $\leq 14 \mu\text{g/dL}$  (lahko tudi do  $16 \mu\text{g/dL}$ ) (17). V smernicah IRIS (8) je zapisano, da živali s serumsko koncentracijo SDMA  $< 18 \mu\text{g/dL}$  uvrstimo v stopnjo 1. Ob tem navajajo, da lahko že perzistentno povišane koncentracije ( $> 14 \mu\text{g/dL}$ ) nakazujejo na zgodnjo stopnjo CKD. Pri koncentraciji SDMA med 15 in  $19 \mu\text{g/dL}$  brez drugih znakov ledvične bolezni je priporočljivo ponovno določanje koncentracije čez 2–4 tedne. Če so koncentracije 15–19  $\mu\text{g/dL}$  prisotne v kombinaciji z drugimi znaki ledvične okvare, je potrebna ustrezna terapevtska obravnava. Pri perzistentnih koncentracijah 15–19  $\mu\text{g/dL}$  ali  $\geq 20 \mu\text{g/dL}$  je zdravljenje indicirano ne glede na prisotnost drugih znakov CKD (23).

Koncentracija SDMA je lahko nekoliko višja (približno za  $1 \mu\text{g/dL}$ ) tudi pri mlajših psih, velikih angleških hrtih in birmankah (8, 16). Na koncentracije SDMA ne vplivajo spol (po nekaterih podatkih (24, 25) bi lahko pri ljudeh imel minimalni vpliv, prav tako starost in debelost), aktivnost in mišična masa (26, 27, 28). Iz tega razloga se v primeru nekaterih bolezni, kjer živali izgubljajo telesno maso (npr. hipertireoidizem), za pregled funkcije ledvic raje odločimo za merjenje koncentracije SDMA kot pa merjenje koncentracije kreatinina oziroma ob koncentraciji kreatinina preverimo še serumsko koncentracijo SDMA (22). Kadar bi kahektično mačko na podlagi kreatinina umestili v 2. ali 3. stopnjo bolezni, ob sočasnih koncentracijah SDMA  $\geq 25 \mu\text{g/dL}$  oziroma  $\geq 45 \mu\text{g/dL}$ , jo glede na smernice IRIS uvrstimo v bolj napredovalo stopnjo (16). Pri ljudeh so raziskave pokazale, da koncentracija SDMA ostaja nespremenjena pri akutnem vnetnem odzivu, boleznih jeter, kardiovaskularnih boleznih ali diabetesu, z izjemo sočasne ledvične okvare (16).

Serumska koncentracija SDMA je lahko povišana tudi pri živalih z limfomom, sarkomi in karcinomi ter v sepsi (29, 30, 31).

Za določanje koncentracije SDMA je najprimernejši vzorec krvni serum, ustrezna pa je tudi plazma. Pri psih so ugotovili, da ostane koncentracija serumskega SDMA nespremenjena do 7 dni, če je serum hranjen pri  $20^\circ\text{C}$  in 14 dni pri  $4^\circ\text{C}$ . Laboratorijska preiskava izbora je tekočinska kromatografija v kombinaciji z masno spektrometrijo (LC-MS). Ker pa je preiskava draga, zamudna in težje dostopna, se v praksi pogosteje uporabljata DLD SDMA ELISA in IDEXX SDMA encimsko imunski test (EIA, angl. *Enzyme Immuno Assay*), ki velja za natančnejšega (16, 22).

## FGF-23

Fibroblastni rastni dejavnik 23 ali fosfaturični hormon je protein, ki ga sintetizirajo in izločajo predvsem osteoblasti in tudi osteoklasti. Njegova glavna vloga je uravnavanje homeostaze fosfatov in presnova vitamina D. Zmanjšuje reabsorpcijo fosfata v ledvicah in zmanjšuje sintezo kalcitriola. Iz organizma se izloča preko ledvic, njegova koncentracija v plazmi progresivno narašča sorazmerno s stopnjo CKD (19).

Je novejši biomarker, ki bi ga potencialno lahko uporabljali za napoved azotemije pri zdravih geriatričnih mačkah ter za oceno progresije in prognoze bolezni; višje plazemske koncentracije so bile zaznane pri mačkah z napredujočo ledvično boleznijo v 2. in 3. stopnji po IRIS (32). Izhodiščne koncentracije FGF-23 so bile višje pri sicer zdravih mačkah, pri katerih se je v 12 mesecih razvila azotemična oblika CKD, v primerjavi z mačkami, pri katerih do razvoja bolezni ni prišlo. Pri mačkah z azotemijo, zlasti v prisotnosti hiperfosfatemije, so koncentracije FGF-23 izrazito povišane. Prav tako imajo mačke z višjimi koncentracijami fosfata višje koncentracije FGF-23 tudi znotraj iste stopnje CKD. Večina dosedanjih raziskav temelji na azotemičnih mačkah v 2. in 3. stopnji bolezni, zato so podatki o odkrivanju zgodnjih stopenj s pomočjo FGF-23 omejeni. Kljub temu je merjenje koncentracije tega biomarkerja v krvnih vzorcih (serum, plazma) priporočeno pred pojavom hiperfosfatemije, v 1. in 2. stopnji, saj povišane koncentracije fosfata v krvi nakazujejo, da je bolezen že prešla v 3. ali 4. stopnjo. Pomembno je poudariti, da FGF-23 ni samostojni temeljni marker za diagnostiko CKD (19, 33, 34).

Pri ljudeh je FGF-23 že prepoznan kot pomemben dejavnik v patogenezi sekundarnega renalnega hiperparatiroidizma (SRHP), ki nastane zaradi retencije fosfata ob zmanjšani glomerulni filtraciji (35, 36, 37). Podobno stanje opažamo tudi pri mačkah, saj ima kar 84 % azotemičnih osebkov povišane plazemske koncentracije paratiroidnega hormona (PTH). Kljub temu so za opredelitev FGF-23 kot potencialnega mediatorja SRHP, in ne zgolj kot markerja CKD, potrebne dodatne raziskave. Receptorji PTH se nahajajo v osteocitih in osteoblastih, kar nakazuje na direktno stimulacijo sekrecije FGF-23. Fibroblastni rastni dejavnik 23 v obščitnici nato zavira sintezo in sekrecijo PTH, ki na drugi strani prispeva k razvoju renalne oblike metabolne bolezni kosti (MBD). Metabolna bolezen kosti se najpogosteje klinično izraža kot zmanjšana kakovost kortikalne kosti, prisotnost osteopenije in osteodistrofije,

običajno na področju lobanje in mandibule. Poleg skeletnih sprememb je značilna tudi distrofična mineralizacija mehkih tkiv in notranjih organov ter motnje v delovanju RAAS. Višje koncentracije PTH ob hiperfosfatemiji so bile v raziskavi značilne le za mačke v IRIS stopnji 3, ne pa tudi v stopnji 2. Povišane koncentracije FGF-23, anorganskega fosfata in kalcija ob sočasno znižanih koncentracijah PTH v plazmi so pri ljudeh značilne tudi za Jansenovo metafizealno hondroplazijo (19, 33, 34).

Referenčne vrednosti koncentracij FGF-23 pri zdravih mačkah še vedno niso natančno opredeljene. Glede na trenutno veljavno klasifikacijo IRIS obstaja možnost, da so bile v nekaterih raziskavah v skupine zdravih mačk umeščene tudi mačke v zgodnji stopnji bolezni (1. stopnja po IRIS) (33). Za geriatrične mačke se trenutne referenčne vrednosti gibljejo od 56 do  $700 \text{ pg/mL}$  (19), rezultati druge študije (38) pa navajajo nižji referenčni razpon: 0–336  $\text{pg/mL}$ . Pri mlajših osebkih so lahko izmerjene koncentracije nižje in z ožjim razponom, čeprav je slednja študija (38) zaključila, da starost, spol in reprodukcijski status nanje nimajo vpliva. Domnevajo, da so lahko pri mačkah koncentracije FGF-23 fiziološko višje kot posledica evolucijske prilagoditve na prehrano z večjo vsebnostjo fosforja. Ena izmed možnih razlag je tudi odsotnost specifične proteaze za FGF-23 pri tej vrsti, kar bi lahko vplivalo na podaljšan razpolovni čas tega hormona v primerjavi z drugimi vrstami (19).

Neodvisni napovedni markerji za koncentracijo FGF-23 pri mačkah vključujejo logaritmirane koncentracije kreatinina in PTH, koncentracijo anorganskega fosfata in skupnega kalcija v plazmi ter vrednost hematokrita (19). Prav tako so v eni študiji ugotovili, da so bile koncentracije FGF-23 višje pri mačkah s CKD, ki so že imele povišane koncentracije SDMA pred pojavom hiperfosfatemije (39).

Grelová in sodelavci niso ugotovili korelacije med koncentracijo FGF-23 in anorganskim fosfatom ter FGF-23 in SDMA. Koncentracija anorganskega fosfata pa je bila v korelaciji s koncentracijo SDMA, sečnine in kreatinina. Na podlagi omenjenih rezultatov so avtorji zaključili, da bi koncentracija anorganskega fosfata lahko predstavljala neodvisni napovedni marker progresije CKD (40).

Merjenje koncentracije FGF-23 v zgodnjih stadijih bolezni je priporočljivo, saj lahko njegove koncentracije ( $\geq 400 \text{ pg/mL}$ ) pomagajo pri klinični presoji, ali žival v danem trenutku potrebuje dieto z zmanjšanim vnosom fosforja in uporabo vezal-

cev fosfata. Vendar je pri interpretaciji povišanih koncentracij FGF-23 potrebna previdnost, zlasti pri mačkah z normalno koncentracijo anorganskega fosfata v plazmi. Povišana koncentracija FGF-23 pri teh živalih ne pomeni nujno fosfatne retencije, saj lahko hiperkalcemija neposredno zviša koncentracijo FGF-23, neodvisno od glomerulne filtracije in fosfatnega statusa. Zato je priporočljivo, da se pri mačkah z normalno koncentracijo anorganskega fosfata v serumu in zvišano koncentracijo FGF-23 pred uvedbo diete vedno preveri tudi koncentracija kalcija v krvi. Omenjena dieta namreč lahko pri nekaterih mačkah s CKD – zlasti tistih, katerih koncentracija anorganskega fosfata ostaja znotraj ciljnih vrednosti po IRIS smernicah – poveča tveganje za razvoj hiperkalcemije. Pomembno je poudariti, da FGF-23 ni zanesljiv napovedni marker za razvoj hiperkalcemije po uvedbi diete z omejenim vnosom fosforja. Renalna dieta lahko prispeva k znižanju koncentracije FGF-23. Pri ljudeh s CKD so vezalci fosforja učinkoviti v zmanjševanju koncentracij FGF-23, za veterinarsko medicino pa trenutno še ni na voljo ustreznih raziskav, ki bi potrjevale to učinkovitost. Nadaljnje študije so potrebne tudi za ovrednotenje uporabnosti merjenja koncentracij FGF-23 v krvnih vzorcih kot diagnostičnega orodja za spremljanje in vodenje zdravljenja hiperfosfatemije pri mačkah s CKD (33, 34).

Raziskave so pokazale, da lahko določene bolezni pomembno vplivajo na serumsko koncentracijo FGF-23. Mednje sodijo hipertireoidizem, srčne bolezni, zmerna do huda sistemska vnetja, neoplazije, litične lezije na kosteh ter izrazita anemija (34). Povišane koncentracije FGF-23 v serumu so bile ugotovljene tudi pri mačkah s hipomagneziemijo (41).

V zgodnjih stopnjah bolezni so lahko koncentracije FGF-23 znotraj referenčnega intervala, še posebej če žival še ni razvila MBD. V takšnih primerih je priporočljivo spremljanje koncentracij FGF-23 skupaj z merjenjem koncentracij SDMA in analizo urina vsakih 3 do 6 mesecev (34).

Pri živalih s CKD je pojavnost srčno-žilnih zapletov visoka, medtem ko se standardni terapevtski pristopi pogosto izkažejo za nezadostno učinkovite. V iskanju novih možnosti zdravljenja se kot ena izmed obetavnih strategij omenja farmakološko zniževanje koncentracij FGF-23 (42).

Pri bolnikih s terminalno ledvično odpovedjo na dializi so bile povišane koncentracije FGF-23 in anorganskega fosfata v serumu opredeljene kot

neodvisni napovedni dejavniki večje smrtnosti. Podobne raziskave pri malih živalih še niso bile izvedene (38).

## INDOKSIL SULFAT

V črevesju se pod vplivom bakterij triptofan presnovi v indol, ki se nato v jetrih pretvori v uremični toksin, imenovan indoksil sulfat. Približno 90 % indoksil sulfata v plazmi je vezanega na albumine, preostalih 10 % se filtrira skozi glomerule. V tej obliki potuje do celic tubularnega sistema ledvic. Ob zmanjšani ledvični funkciji pride do njegove akumulacije v proksimalnih tubulih in dodatno prispeva k nadaljnemu poslabšanju ledvične funkcije. Nadalje indoksil sulfat inducira nastanek oksidativnega stresa v ledvičnih celicah, predvsem v proksimalnih tubulih, kar vodi v zmanjšano izražanje proteina klotho, specifičnega ko-receptorja za FGF-23. Klotho ima ključno vlogo pri uravnavanju fosfatne homeostaze in deluje kot antioksidantni zaščitni dejavnik; njegova zmanjšana ekspresija pospešuje progresijo kronične ledvične bolezni in motnje signalizacije FGF-23 (43). Fibroblastni rastni dejavnik 23 zavira reabsorpcijo fosfata in sintezo kalcitriola v ledvicah. Ugotovitev nakazuje, da bi indoksil sulfat lahko vplival na presnovo fosfatov neodvisno od ledvične funkcije. Poleg tega indoksil sulfat zavira proliferacijo endotelijskih celic, spodbuja celično staranje, povečuje kalcifikacijo in togost aorte in inducira miokardialno fibrozo (44, 45).

Določitev koncentracije indoksil sulfata v plazmi se izvaja v laboratoriju z uporabo tekočinske kromatografije visoke ločljivosti (HPLC, angl. *High Performance Liquid Chromatography*). Predhodno mora biti žival tešča. Po odvzemu krvi vzorec centrifugiramo, pridobljeni serum pa do analize hranimo v hladilniku (45).

Indoksil sulfat se uporablja kot napovedni biomarker za napredovanje CKD pri živalih v 2. ali 3. stopnji po IRIS, zlasti pri psih. Njegove koncentracije se začnejo povečevati že v zgodnejših stopnjah bolezni, medtem ko najvišje koncentracije običajno zaznamo pri živalih z izrazito napredovalo ledvično okvaro, značilno za 4. stopnjo po IRIS klasifikaciji. Hemodializa ne prispeva k odstranitvi indoksil sulfata iz plazme (44, 45).

V eni izmed raziskav (44), v okviru katere so proučevali mačke in pse s CKD, so živali razvrstili v dve skupini glede na potek bolezni – progresivno in neprogresivno. Med skupinama mačk ni bilo statis-

tično značilnih razlik v koncentracijah serumskega kreatinina, sistoličnega krvnega tlaka in razmerja UPC. Mačke s progresivno boleznijo so imele višje koncentracije indoksil sulfata, anorganskega fosfata in kalcijevega fosfata, nižjo koncentracijo albuminov in hemoglobina ter nižjo vrednost hematokrita v primerjavi s skupino z neprogresivno obliko bolezni. Omenjena raziskava pa je pri psih pokazala, da sta se skupini razlikovali le v koncentraciji indoksil sulfata, ki je bila višja pri psih s progresivno boleznijo; drugih razlik, vključno s kreatininom, anorganskim fosfatom, krvnim tlakom in hematološkimi parametri, niso ugotovili (44).

Povišane koncentracije indoksil sulfata so bile ugotovljene pri živalih, hranjenih z dietami z visoko vsebnostjo beljakovin. Znižane koncentracije tega uremičnega toksina so bile opažene pri živalih, zdravljenih z oralnim adsorbentom AST-120 (Kremezin) (44). Čeprav vezalec fosfatov sevelamer lahko zniža koncentracijo indoksil sulfata (46), v omenjeni raziskavi (44) niso zaznali razlik v koncentracijah indoksil sulfata med živalmi z ali brez uporabe vezalcev fosfatov. Potrjena je bila tudi višja pozitivna korelacija med koncentracijami indoksil sulfata in anorganskega fosfata kot med kreatininom in anorganskim fosfatom (44).

## CISTATIN C

Cistatin C je protein z nizko molsko maso ( $\approx 13$  kDa), ki spada med inhibitorje cisteinskih proteaz. Proizvajajo ga vse celice z jedrom, zato je njegova koncentracija v krvi relativno konstantna in ni bistveno odvisna od mišične mase, spola ali prehrane (47). Je posredni biomarker, ki se ga priporoča za oceno zmanjšane glomerulne filtracije pri psih, lažjih od 20 kg. V humani medicini velja za boljši marker od kreatinina, vendar kljub temu še vedno predstavlja le dodatni parameter za določanje glomerulne filtracije. Pri psih ima potencial za zgodnje odkrivanje bolezni, vendar je njegova zanesljivost nižja v primerjavi s kreatininom in SDMA. Na koncentracijo serumskega cistatina C lahko vplivajo različni drugi dejavniki, kot so hiperadrenokortizem, disfunkcija ščitnice in uporaba prednizolona. V zgoraj omenjeni raziskavi (47) so ugotovili, da na koncentracijo cistatina C vplivajo imunosupresivna zdravila, predvsem kortikosteroidi. Ena izmed študij (48) je pokazala, da so koncentracije cistatina C neposredno povezane s težo živali; psi z maso pod 20 kg imajo nižje koncentracije tako cistatina C kot tudi kreatinina. Pri ljudeh mišična masa ne vpliva na koncentracije cistatina C, medtem ko vpliv maščobnega

tkiva obstaja (49). Pri psih s prekomerno telesno maso so se koncentracije cistatina C po izgubi mase znižale, zato je pri interpretaciji rezultatov potrebno upoštevati kondicijsko stanje živali ter morebitne nedavne spremembe telesne mase. Raziskave na področju tega diagnostičnega biomarkerja so še v začetni fazi, prav tako pa ni vzpostavljenih standardiziranih metod merjenja, kar omejuje njegovo uporabo v klinični praksi. Povečane koncentracije serumskega cistatina C so bile pri psih, lažjih od 15 kg, povezane s krajšim preživetjem (3, 48).

## ZAKLJUČEK

Kronična bolezen ledvic je ena najpogostejših presnovnih motenj pri geriatričnih mačkah in pomemben vzrok obolevnosti ter smrtnosti. Podobno je tudi pri psih, kjer CKD predstavlja pogost klinični problem, zlasti pri starejših živalih, čeprav je prevalenca nekoliko nižja kot pri mačkah. Zaradi poznega izražanja kliničnih znakov in progresivnega poteka se išče nove in učinkovitejšje biomarkerje, ki bi pomagali odkriti bolezen v zgodnejših stopnjah. Na idealni biomarker ne vplivajo starost, spol, pasma, mišična masa, hidracijski status, variabilen vnos hranil in druga bolezenska stanja. V klinični praksi se trenutno za oceno ledvične funkcije najpogosteje uporabljata kreatinin in SDMA, medtem ko se raziskave vse pogosteje usmerjajo tudi v druge potencialne biomarkerje, kot so FGF-23, indoksil sulfat, cistatin C, cistatin B, homocistein,

klusterin in inozin. Ključna omejitev merjenja novih biomarkerjev je v večini primerov zahtevna metodologija določanja, ki ni vedno dostopna v vsakdanji klinični praksi, ter pomanjkanje ustrezno usposobljenega osebja za izvedbo in interpretacijo dobljenih rezultatov (40, 50).

## VIRI IN LITERATURA

1. Frangež Robert, 2023. Patološka fiziologija: študijsko gradivo za študente veterine. 7. Dopolnjena izd. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta, 441–448.
2. Van Vertloo L. Renal Dysfunction in Dogs and Cats. 2025. <https://www.msdsmanual.com/urinary-system/noninfectious-diseases-of-the-urinary-system-in-small-animals/renal-dysfunction-in-dogs-and-cats?query=ckd> (2. 10. 2025)
3. Finch N., Heiene. Early detection of chronic kidney disease. In: Elliot J., Grauer G. F., Westropp J. L., eds. BSAVA Manual of Canine and Feline Nephrology and Urology. 3rd ed. Gloucester: British Small Animal Veterinary Association, 2017: 130–142
4. Jepson R. Polyuria and polydipsia. In: Elliot J., Grauer G. F., Westropp J. L., eds. BSAVA Manual of Canine and Feline Nephrology and Urology. 3rd ed. Gloucester: British Small Animal Veterinary Association, 2017: 8–23
5. Hall J. A., Yerramilli M., Obare E., Yerramilli M., Jewell D. E. Comparison of serum concentrations of symmetric dimethylarginine and creatinine as kidney function biomarkers in cats with chronic kidney disease. *J Vet Intern Med.* 2014 Nov-Dec; 28(6):1676–83. doi: 10.1111/jvim.12445.
6. Krofič Žel, M., Nemeč Svete, A., Jakovac Strajn, B., Pavšič Vrtač, K., Vovk, T., Kejžar, N. & Pavlin, D. (2023). THE EFFECT OF A SPECIFIC CHICKEN BASED RENAL DIET AS MONOTHERAPY ON CLINICAL, BIOCHEMICAL, URINARY AND SERUM OXIDATIVE STRESS PARAMETERS IN CATS WITH CKD STAGE 1 AND 2. *Slovenian Veterinary Research*, 60(1), 25–35. <https://doi.org/10.26873/SVR-1515-2023>
7. Hall J. A., Fritsch D. A., Jewell D. E., Burris P. A., Gross K. L. Cats with IRIS stage 1 and 2 chronic kidney disease maintain body weight and lean muscle mass when fed food having increased caloric density, and enhanced concentrations of carnitine and essential amino acids. *Vet Rec.* 2019 Feb 9; 184(6):190. doi: 10.1136/vr.104865.
8. IRIS. IRIS Staging of CKD. 2023: 5. [https://static1.squarespace.com/static/666b9ecb4064a156963b4162/t/66a6dbc90ca6986e1b5c06bd/1722211273243/2\\_IRIS\\_Staging\\_of\\_CKD\\_2023.pdf](https://static1.squarespace.com/static/666b9ecb4064a156963b4162/t/66a6dbc90ca6986e1b5c06bd/1722211273243/2_IRIS_Staging_of_CKD_2023.pdf) (26. 8. 2025)



Fotografija: Urban Urbanc

9. Giraldi M., Rossi G., Bertazzolo W., Negri S., Paltrinieri S., Scarpa P. Evaluation of the analytical variability of urine protein-to-creatinine ratio in cats. *Vet Clin Pathol.* 2018 Sep; 47(3):448–457. doi: 10.1111/vcp.12646.
10. Jepson R. E., Brodbelt D., Vallance C., Syme H. M., Elliott J. Evaluation of predictors of the development of azotemia in cats. *J Vet Intern Med.* 2009 Jul-Aug; 23(4):806–13. doi: 10.1111/j.1939-1676.2009.0339.x.
11. Mertelj B. Osnove laboratorijske diagnostike. Ljubljana: DZS, 2019: 84
12. Nelson R. W. 8 - Endocrine, Metabolic, and Lipid Disorders. <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/hyperlipidemia> (8. 11. 2025)
13. Soleimani N., Mohammadzadeh S., Asadian F. Lipemia Interferences in Biochemical Tests, Investigating the Efficacy of Different Removal Methods in comparison with Ultracentrifugation as the Gold Standard. *J Anal Methods Chem.* 2020 Feb 12; 2020:9857636. doi: 10.1155/2020/9857636.
14. Lundgren B. Hyperlipidemia in Dogs and Cats. 2016. <https://veterinarypartner.vin.com/default.aspx?pid=19239&catId=254063&id=4952698> (4. 11. 2025)
15. Alenka Nemeč Svete; Robert Frangež. Klinična biokemija v veterinarski medicini: učbenik za študente veterinarske medicine. Ljubljana: Veterinarska fakulteta, 2013.
16. Relford R., Robertson J., Clements C. Symmetric Dimethylarginine: Improving the Diagnosis and Staging of Chronic Kidney Disease in Small Animals. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2016 Nov; 46(6):941–60. doi: 10.1016/j.cvsm.2016.06.010.
17. Nabity M. B., Lees G. E., Boggess M. M., Yerramilli M., Obare E., Yerramilli M., Rakitin A., Aguiar J., Relford R. Symmetric Dimethylarginine Assay Validation, Stability, and Evaluation as a Marker for the Early Detection of Chronic Kidney Disease in Dogs. *J Vet Intern Med.* 2015 Jul-Aug; 29(4):1036–44. doi: 10.1111/jvim.12835.
18. Nah H., Lee S. G., Lee K. S., Won J. H., Kim H. O., Kim J. H. Evaluation of bilirubin interference and accuracy of six creatinine assays compared with isotope dilution-liquid chromatography mass spectrometry. *Clin Biochem.* 2016 Feb; 49(3):274–81. doi: 10.1016/j.clinbiochem.2015.10.015. Epub 2015 Oct 27. PMID: 26519089.
19. Geddes R. F., Finch N. C., Elliott J., Syme H. M. Fibroblast growth factor 23 in feline chronic kidney disease. *J Vet Intern Med.* 2013 Mar-Apr; 27(2):234–41. doi: 10.1111/jvim.12044.
20. Grauner G. F. Reassessment of “normal” values in dogs and cats with chronic kidney disease. USA. <https://www.iris-kidney.com/reassessment-of-normal-values-in-dogs-and-cats> (4. 10. 2025)
21. Marino C. L., Lascelles B. D., Vaden S. L., Gruen M. E., Marks S. L. Prevalence and classification of chronic kidney disease in cats randomly selected from four age groups and in cats recruited for degenerative joint disease studies. *J Feline Med Surg.* 2014 Jun; 16(6):465–72. doi: 10.1177/1098612X13511446.
22. Ernst R., Ogeer J., McCrann D., Cross J., Strong-Townsend M., Friis H., Coyne M., Clements C., Drake C., Murphy R. Comparative performance of IDEXX SDMA Test and the DLD SDMA ELISA for the measurement of SDMA in canine and feline serum. *PLoS One.* 2018 Oct 15; 13(10):e0205030. doi: 10.1371/journal.pone.0205030.
23. Izvid akreditiranega laboratorija DIN EN ISO/IEC 17025.
24. Marliss E. B., Chevalier S., Gougeon R., Morais J. A., Lamarche M., Adegoke O. A., Wu G. Elevations of plasma methylarginines in obesity and ageing are related to insulin sensitivity and rates of protein turnover. *Diabetologia.* 2006 Feb; 49(2):351–9. doi: 10.1007/s00125-005-0066-6.
25. Atzler D., Schwedhelm E., Nauck M., Ittermann T., Böger R. H., Friedrich N. Serum reference intervals of homoarginine, ADMA, and SDMA in the study of health in Pomerania. *Clin Chem Lab Med.* 2014 Dec; 52(12):1835–42. doi: 10.1515/cclm-2014-0314.
26. Pedersen L. G., Tarnow I., Olsen L. H., Teerlink T., Pedersen H. D. Body size, but neither age nor asymptomatic mitral regurgitation, influences plasma concentrations of dimethylarginines in dogs. *Res Vet Sci.* 2006 Jun; 80(3):336–42. doi: 10.1016/j.rvsc.2005.07.005.
27. Moesgaard S. G., Holte A. V., Mogensen T., Mølbak J., Kristensen A. T., Jensen A. L., Teerlink T., Reynolds A. J., Olsen L. H. Effects of breed, gender, exercise and white-coat effect on markers of endothelial function in dogs. *Res Vet Sci.* 2007 Jun; 82(3):409–15. doi: 10.1016/j.rvsc.2006.09.003.
28. Hall J. A., Yerramilli M., Obare E., Yerramilli M., Melendez L. D., Jewell D. E. Relationship between lean body mass and serum renal biomarkers in healthy dogs. *J Vet Intern Med.* 2015 May-Jun; 29(3):808–14. doi: 10.1111/jvim.12607.
29. Koch A., Weiskirchen R., Bruensing J., Dückers H., Buendgens L., Kunze J., Matthes M., Luedde T., Trautwein C., Tacke F. Regulation and prognostic relevance of symmetric dimethylarginine serum concentrations in critical illness and sepsis. *Mediators Inflamm.* 2013; 2013:413826. doi: 10.1155/2013/413826.
30. Coyne M. J., Drake C., McCrann D. J., Kincaid D. The association between symmetric dimethylarginine concentrations and various neoplasms in dogs and cats. *Vet Comp Oncol.* 2022 Dec; 20(4):846–853. doi: 10.1111/vco.12845.
31. Rixon A., Meyer E., Daminet S., Goddard A., Kongtasai T., Pazzi P. Influence of Carcinoma and Sarcoma on Neutrophil Gelatinase-Associated Lipocalin and Symmetric Dimethylarginine Concentrations in Dogs. *J Vet Intern Med.* 2025 Mar-Apr; 39(2):e70015. doi: 10.1111/jvim.70015.
32. Liao Y. L., Chou C. C., Lee Y. J. The association of indoxyl sulfate with fibroblast growth factor-23 in cats with chronic kidney disease. *J Vet Intern Med.* 2019 Mar; 33(2):686–693. doi: 10.1111/jvim.15457.
33. Summers S., Michael H. T., Szlosek D., Mack R. Blood fibroblast growth factor 23 concentration in cats with and without chronic kidney disease: a scoping review. *J Feline Med Surg.* 2024 Apr; 26(4):1098612X241234984. doi: 10.1177/1098612X241234984.
34. IDEXX. IDEXX FGF-23 Test. 2022: 5. <https://www.idexx.com/files/fgf-23-diagnostic-update.pdf> (1. 10. 2025)
35. Wetmore J. B., Quarles L. D. Calcimimetics or vitamin D analogs for suppressing parathyroid hormone in end-stage renal disease: time for a paradigm shift? *Nat Clin Pract Nephrol.* 2009 Jan; 5(1):24–33. doi: 10.1038/ncpneph0977.
36. Gutiérrez O. M. Fibroblast growth factor 23 and disordered vitamin D metabolism in chronic kidney disease: updating the “trade-off” hypothesis. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2010 Sep; 5(9):1710–6. doi: 10.2215/CJN.02640310.
37. Bricker N. S. On the pathogenesis of the uremic state. An exposition of the “trade-off hypothesis”. *N Engl J Med.* 1972 May 18; 286(20):1093–9. doi: 10.1056/NEJM197205182862009.
38. Lin J., Lin L., Chen S., Yu L., Chen S., Xia Z. Serum fibroblast growth factor 23 (FGF-23): associations with hyperphosphatemia and clinical staging of feline chronic kidney disease. *J Vet Diagn Invest.* 2021 Mar; 33(2):288–293. doi: 10.1177/1040638720985563.
39. Sargent H. J., Jepson R. E., Chang Y. M., Biourge V. C., Bijmans E. S., Elliott J. Fibroblast growth factor 23 and symmetric dimethylarginine concentrations in geriatric cats. *J Vet Intern Med.* 2019 Nov; 33(6):2657–2664. doi: 10.1111/jvim.15590.
40. Grelová S., Karasová M., Tóthová C., Kisková T., Baranová D., Lukáč B., Fialkovičová M., Micháľová A., Kunay L., Svoboda M. Relationship between FGF 23, SDMA, Urea, Creatinine and Phosphate in Relation to Feline Chronic Kidney Disease. *Animals (Basel).* 2022 Aug 31; 12(17):2247. doi: 10.3390/ani12172247.
41. van den Broek D. H. N., Chang Y. M., Elliott J., Jepson R. E. Prognostic importance of plasma total magnesium in a cohort of cats with azotemic chronic kidney disease. *J Vet Intern Med.* 2018 Jul; 32(4):1359–1371. doi: 10.1111/jvim.15141.
42. Seiler S., Heine G. H., Fliser D. Clinical relevance of FGF-23 in chronic kidney disease. *Kidney Int Suppl.* 2009 Dec; (114):S34–42. doi: 10.1038/ki.2009.405.
43. Sun C. Y., Lin Y. T., Huang Y. T., Cheng H. C., Chou W. C., Chang Y. T., Ling T. C., Hsieh P. L., Tsai K. L. Klotho Suppresses Indoxyl Sulfate-Mediated Apoptosis in Human Kidney Proximal Tubular (HK-2) Cells through Modulating the AKT/Nrf2 Mechanism. *ACS Omega.* 2025 Jun 3; 10(23):24018–24029. doi: 10.1021/acsomega.4c08038.
44. Chen C. N., Chou C. C., Tsai P. S. J., Lee Y. J. Plasma indoxyl sulfate concentration predicts progression of chronic kidney disease in dogs and cats. *Vet J.* 2018 Feb; 232: 33–39. doi: 10.1016/j.tvjl.2017.12.011.
45. Von Luckner J., Webber C. Diagnosis of renal dysfunction in dogs and cats. 2022: 4. [https://laboklin.com/wp-content/uploads/2024/01/LA\\_Mar2022\\_ENG\\_FINAL.pdf](https://laboklin.com/wp-content/uploads/2024/01/LA_Mar2022_ENG_FINAL.pdf) (26. 8. 2025)
46. De Smet R., Thermote F., Lameire N., Vanholder R. Sevelamer hydrochloride (Renagel (R)) adsorbs the uremic compound indoxyl sulfate (abstract). *Journal of the American Society of Nephrology* 14, 206a.
47. Dahl H., Meyer K., Sandnes K., Welland N. L., Arnesen I., Marti H. P., Dierkes J., Lysne V. Cystatin C proteoforms in chronic kidney disease. *PLoS One.* 2023 Feb 1; 18(2):e0269436. doi: 10.1371/journal.pone.0269436.
48. Miyagawa Y., Akabane R., Ogawa M., Nakagawa M., Miyakawa H., Takemura N. Serum cystatin C concentration can be used to evaluate glomerular filtration rate in small dogs. *J Vet Med Sci.* 2021 Jan 5; 82(12):1828–1834. doi: 10.1292/jvms.20-0201.
49. Chang A. R., Zafar W., Grams M.E. Kidney Function in Obesity-Challenges in Indexing and Estimation. *Adv Chronic Kidney Dis.* 2018 Jan; 25(1):31–40. doi: 10.1053/j.ackd.2017.10.007.
50. Yerramilli M., Farace G., Quinn J., Yerramilli M. Kidney Disease and the Nexus of Chronic Kidney Disease and Acute Kidney Injury: The Role of Novel Biomarkers as Early and Accurate Diagnostics. In: Polzin D. J., Cowgill L. D., eds. *VETERINARY CLINICS OF NORTH AMERICA: SMALL ANIMAL PRACTICE: Chronic Kidney Disease.* November 2016. Vol. 46. Number 6. Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier Inc., 2016: 961–993.



Fotografiji: Anja Rebec



# VIDNA VARNOST NAREDI OČITNO RAZLIKO



ZASNOVANO  
NA  
DANSKEM

## KRUUSE SafeVet® povoji

- **Vizualni indikator raztezanja**  
- pomaga zagotoviti ustrezno napetost v vsakem trenutku
- **Zmanjša nevarnost staze**  
- zgodnje opozorilo vgrajeno v vzorcu
- **Varno in podporno**  
- stalna kompresija za zdravljenje in okrevanje
- **Samozavest med zaposlenimi**  
- zanesljivo delujejo ne glede na to, kdo jih namesti



Povoj je na voljo v 3 velikostih  
ter v 3 različnih barvah



Do 50%  
raztega



Nevarnost  
staze



Zainteresirani  
za več  
informacij?



Gentle Treatment



vetCONSULT PHARMA d.o.o.

kruise.com

# PRIMERJAVA VPLIVA OBSEGA KIRURŠKEGA POSEGA NA IZVEDBO CARSKEGA REZA PRI PSICAH

Avtorji: Eva Frelj, Manja Jerala, študentki Veterinarske fakultete, izr. prof. dr. Maja Zakošek Pipan, dr. vet. med., Klinika za reprodukcijo in velike živali, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani, asist. Mihaela Klasič, dr. vet. med. in znan. sod. dr. Tanja Plavec, dr. vet. med., Klinika za male živali, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## IZVLEČEK

Distocija (težaven ali nenapredujoč porod) je pogost zaplet pri brejih psicah, ki ga pogosto rešujemo s carskim rezom. Nekatero pasmo, predvsem brahicefalične, so zaradi anatomskih posebnosti še posebej nagnjene k težavnim porodom, pri katerih se je potrebno poslužiti operativnega zdravljenja. Poleg carskega reza je eden najpogostejših reprodukcijskih posegov pri psicah sterilizacija, ki jo lahko izvedemo z ovariektomijo ali ovariohisterektomijo. Sterilizacija lahko opravimo tudi ob carskem rezu, kar psicam prihrani dodatno anestezijo, vendar pa kombiniran poseg pomeni daljši operativni čas, potencialno večjo izgubo krvi, tveganje za zaplete in lahko vpliva na okrevanje matere ter nego mladičev. Za vitalnost novorojenčkov so ključni čim krajši čas od indukcije anestezije do ekstrakcije mladičev, ustrezni anestezijski protokoli in ustrezno ukrepanje po oceni vitalnosti mladičev takoj po porodu z uporabo validirane modificirane Apgarjeve lestvice. Z raziskavo smo želeli ugotoviti, ali je hkratna izvedba ovariohisterektomije (OVH) ob carskem rezu varna za psico in mladiče ter kako vpliva na okrevanje in pooperativne zaplete. Podatkov o tem je namreč malo ali pa so nepopolni. Cilj raziskave je bil primerjati dve skupini psic, in sicer psice, pri katerih je bil opravljen samo carski rez (CS), ter tiste, kjer je bil opravljen carski rez z ovariohisterektomijo (CS-OVH). Primerjali smo vpliv posega na zdravje matere (krvni parametri, bolečina, aktivnost), zdravje mladičev (Apgar ocena, prirast telesne mase) ter pojav zapletov med in po operaci-

ji. Naše hipoteze so bile:

1. Skupina CS-OVH bo imela večjo izgubo krvi, a brez razlik v hematokritu po 5 dneh.
2. Mladiči skupine CS-OVH bodo imeli manjši prirast v 10 dneh po kotitvi.
3. Psice iz skupine CS-OVH bodo izražale več bolečine in bodo manj aktivne.
4. Anestezijski in kirurški čas bo pri skupini CS-OVH daljši.

Ključne besede: carski rez; ovariohisterektomija; mladiči.

## PREGLED LITERATURE

### Reprodukcijski cikel psice

Reprodukcijski cikel psice je v primerjavi z drugimi domačimi živalmi precej edinstven, saj je psica monoestrična žival z enim ciklusom na 6–8 mesecev brez izrazite sezonske pogojenosti. Ciklus sestavlja štiri faze: proestrus, estrus, diestrus in anestrus. Proestrus traja povprečno devet dni (1–21 dni), zaznamuje ga višje koncentracije estrogena, otekline vulve in krvavkast izcedek. Psica takrat privablja samce, vendar še ni pripravljena na paritev. V estrusu, ki traja povprečno 9 dni (3–21 dni), se koncentracije estrogena znižajo, koncentracije progesterona pa pričnejo naraščati zaradi delne luteinizacije foliklov. Ovulacija nastopi običajno 2–3 dni po začetku estrusa, v tem času je psica plodna, izcedek postane svetlejši in redkejši. Sledi diestrus, ki traja

50–80 dni in ga zaznamuje visoka koncentracija progesterona ne glede na brejost. Pri nekaterih psicah lahko zato nastopi ob koncu tega obdobja tudi lažna brejost ali psevdogavidnost. Anestrus je obdobje mirovanja (80–240 dni), ko so hormonske ravni nizke in se organizem pripravlja na nov ciklus. Hormonsko dogajanje v ciklusu uravnavajo estrogen, progesteron, luteinizirajoči hormon (LH) in prolaktin. Val LH sproži ovulacijo in nastanek rumenih teles, ki proizvajajo progesteron, prolaktin pa skupaj z LH vzdržuje njihovo funkcijo skozi diestrus.

### Brejost pri psicah

V brejosti se maternica postopoma povečuje zaradi razvoja plodov, ključno vlogo pa ima hormon progesteron, ki zavira maternično krčenje in ohranja zaprt maternični vrat. Pri psicah nastaja izključno v rumenem telescu, katerega funkcijo vzdržujeta LH in prolaktin. Porod sproži dozorela hormonska os ploda (hipotalamus–hipofiza–nadledvična žleza). Kortizol plodu spodbudi sintezo PGF<sub>2α</sub>, ki povzroči krčenje maternice, mehčanje materničnega vratu in propad rumenega telesca, kar vodi do padca progesterona 24–36 ur pred porodom. Pomembni so še oksitocin, ki prav tako povzroča krčenje maternice in relaksin, ki je pomemben pri rahljanju porodnih poti.

### Fiziološke spremembe krvnih parametrov v obporodnem obdobju

Tekom brejosti se pojavljajo značilne spremembe krvnih parametrov. Pogosta sta znižanje hematokrita in eritrocitov zaradi hemodilucije. Po porodu lahko pride do dodatnega upada zaradi krvavitve. Albumini se znižajo, globulini se lahko rahlo zvišajo, elektrolitske spremembe so blage, izjema je kalcij, katerega pomanjkanje lahko vodi v eklampsijo. Po porodu se hematokrit in eritrociti normalizirajo v 7–10 dneh, albumini v 1–2 tednih. Kalcij in fosfor se lahko ob večjem številu mladičev in intenzivni laktaciji normalizirata počasneje. Spremljanje teh parametrov je ključno za zgodnje prepoznavanje zapletov.

### Porod in distocija

Porod poteka v treh fazah:

1. Prva faza (12–36 ur): odpiranje materničnega vratu, nemir, padec telesne temperature.

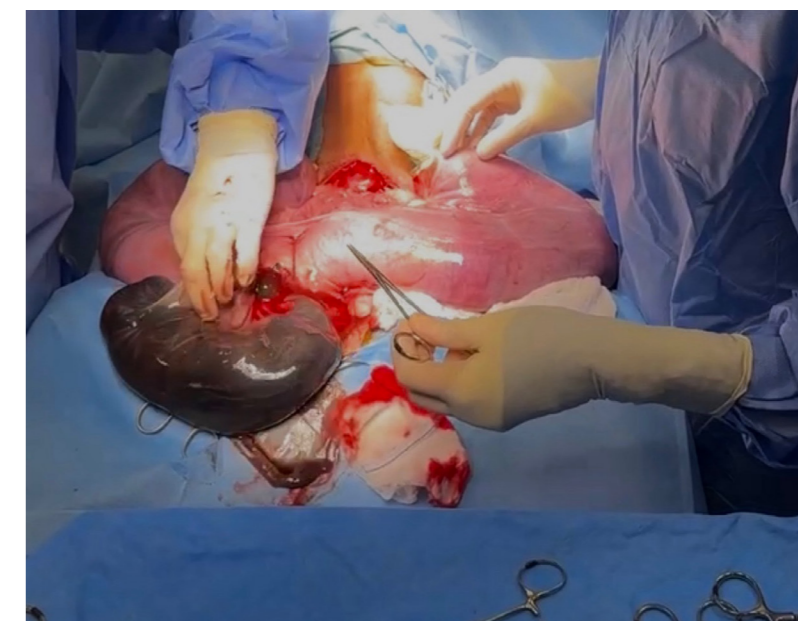
2. Druga faza: iztis plodov v razmiku 30–60 minut; trajanje je odvisno od velikosti legla.
3. Tretja faza: izločanje posteljic, ki poteka pogosto takoj po porodu posameznega mladiča.

Ko so te faze podaljšane oziroma porod ne napreduje kot bi moral, govorimo o distociji. Ta resno ogroža mater in mladiče. Pogosteje se pojavlja pri brahicefaličnih in miniaturnih pasmah, pasmah z dolgimi vratovi, pa tudi pri psicah z majhnim ali zelo številčnim leglom. Najpogostejši vzroki so neodzivnost maternice, nepravilna lega plodov ter anatomske nepravilnosti. Daljša druga faza poroda pomembno poveča tveganje za hipoksijo in pogin mladičev. Hipokalcemija lahko zmanjša kontraktilnost maternice in povzroči njeno neodzivnost. Zdravljenje z oksitocinom, kalcijem in glukozo je indicirano le, če ni mehanske ovire. Ob neuspehu konzervativnega zdravljenja je potrebna kirurška rešitev – najpogosteje carski rez.

### Carski rez

Carski rez je eden najpogostejših kirurških posegov v reprodukciji psov, lahko je elektivni (načrtovan) ali urgentni. Elektivni CS se izvaja okrog 63. dne po LH valu, urgentni pa ob zastalem porodu, neodzivnosti maternice, obstrukciji prvega mladiča, slabi telesni kondiciji matere itd. Podaljšan čas poroda je velik problem in lahko vodi v pogin mladičev.

Poseg vključuje laparotomijo po srednji liniji in hysterotomijo z izvlekom mladičev (slika 1). Po odstranitvi vseh vidnih plodov celotno maternico



Slika 1: Odstranitev mladičev iz maternice



Slika 2: Sesanje mladičev po carskem rezu

temeljito pretipamo od jajčnikov do materničnega vratu, da zagotovimo, da noben plod ni ostal znotraj rogov. Površino maternice in kirurški rez očistimo in nato zašijemo s tankim monofilamentnim resorbilnim šivalnim materialom z okroglo iglo. Za zapiranje maternice lahko uporabimo eno- ali dvoslojno tehniko. Za spodbujanje krčenja maternice lahko direktno v maternico apliciramo oksitocin. Nato pregledamo in speremo trebušno votlino z ogreto fiziološko raztopino in zašijemo trebušno steno, podkožje in kožo. Pri tem večkrat uporabimo intradermalne šive, saj ti ne motijo mladičev med sesanjem (slika 2). Postopek zahteva hitro in skrbno izvedbo, pravilno kirurško tehniko ter ustrezno pooperativno nego psice in mladičev.

### Sočasna izvedba ovariohisterektomije s carskim rezom

Kombinacija CS + OVH je v veterinarski medicini dolgo veljala za tvegan poseg zaradi daljšega operativnega časa, krvavitve ter domnevno oslabilnega materinskega vedenja in zmanjšane laktacije.

Vendar novejša raziskava kažejo, da kombinirani poseg ne poveča smrtnosti ali zapletov ter nima negativnega vpliva na materinsko obnašanje.

Klinične prednosti vključujejo preprečevanje ponovnih anestezij in zmanjšanje tveganja za boleznirodil. Poseg je smiseln pri nenačrtovanih brejostih, starejših psicah ali tistih, ki niso namenjene vzreji. Glavna razlika je nekoliko daljši kirurški čas in začasno močnejša pooperativna bolečina.

### Ocena vitalnosti mladičev po Apgarjevi

Smrtnost pasjih novorojencev je lahko do 40 %, najbolj kritični so prvi trenutki in dnevi po rojstvu. Glavni vzroki so distocija, okužbe, prenizka porodna teža in prirojene nepravilnosti.

Za zgodnje prepoznavanje mladičev z višjim obporodnim tveganjem se uporablja Apgarjeva ocena, prilagojena za pse. V oceno je vključena barva sluznic, srčni utrip, dihanje, mišični tonus in refleksna odzivnost. Parametri se točkujejo z 0–2, rezultat pa nakazuje nujnost ukrepanja. Pogosto se dodajajo tudi refleksi (sesalni, odzivni, vrnitveni), meritve pa se izvajajo večkrat: <5, 15 in 60 minut po rojstvu.

### Bolečina pri psicah

Pooperativna bolečina po carskem rezu in ovariohisterektomiji je pogosta in predstavlja klinični izziv, saj jo pri psih ocenjujemo posredno na podlagi vedenjskih (zmanjšana aktivnost, nemir, vokalizacija, neješčnost, iskanje samote) in fizioloških znakov (tahikardija, pospešeno dihanje, spremembe temperature). Subtilni kazalci so tudi spremenjena mimika, spuščeni rep, zaščitna drža, previdno gibanje in umikanje mladičem.

Za ocenjevanje se vse pogosteje uporablja prilagojena glasgowska bolečinska lestvica, ki omogoča strukturirano in ponovljivo oceno bolečine.

Za zdravljenje bolečine se priporoča multimodalna analgezija, ki vključuje opioide, nesteroidne analgetike in antiflogistike (NSAID) ter lokalne anestetike. Kombinacija več različnih zdravil hkrati omogoča zmanjšanje odmerkov posameznih zdravil in zmanjša tveganje za pojav neželenih učinkov. Ustrezno lajšanje bolečine pospeši okrevanje, izboljša materino skrb za mladiče in zmanjšuje pogostost zapletov.

Pri izbiri analgetikov je ključna varnost mladičev, saj zdravila lahko prehajajo v mleko.

- Tramadol se lahko uporablja, a njegova učinkovitost in varnost pri psicah ostajata vprašljivi.
- Fentanilski transdermalni obliži niso priporočljivi zaradi tveganja stika mladičev z zdravilom.
- Gabapentin se uporablja, a lahko povzroči zaspanost in manjšo pozornost matere.
- Nesteroidni analgetiki in antiflogistiki so učinkoviti, a zahtevajo previdnost: karprofen se v mleko izloča minimalno, cimicoksib v večji meri, za meloksikam ni podatkov. Zaradi vpliva na razvoj ledvic mladičev so NSAID kontraindicirani pri prežgoda rojenih mladičih.

Zaradi omejenih podatkov je treba skrbno uravnatežiti dobrobit psice in varnost mladičev.

### Propofol in hlapni anestetiki

Pri brejih psicah za uvod v splošno anestezijo najpogosteje uporabljamo intravenski anestetik propofol zaradi njegovega hitrega in kratkega delovanja ter sevofluran za vzdrževanje splošne anestezije, saj ta minimalno vpliva na srčno-žilni sistem in omogoča hitro prebujanje iz anestezije. Propofol prehaja placentno, a se hitro presnavlja, zato ob pravilni uporabi ne ogroža mladičev.

### Anestezijski dejavniki tveganja

Vitalnost mladičev je odvisna od prehoda anestetikov skozi placentno, saj novorojenčki še nimajo razvite presnove, kar podaljšuje učinek zdravil. Zato je priporočljivo, da so trajanje anestezije in odmerki uporabljenih učinkovin čim manjši.

Sedative in opioide uporabljamo zelo previdno, saj lahko prehajajo skozi placentno in povzročijo depresijo pri novorojenčkih. Zdravil, kot so midazolam, ketamin in tiopental, se praviloma izogibamo, ker imajo izrazite zaviralne učinke na centralni živčni sistem mladičev. Podobno velja za agoniste alfa-2 receptorjev (npr. medetomidin in deksmedetomidin) ter fenotiazine, saj lahko povzročijo kardiovaskularno in respiratorno depresijo pri plodovih in materi. Raziskave kažejo, da uporaba alfaksalona za uvod v anestezijo izboljša Apgarjevo

oceno mladičev v primerjavi s propofolom. Dolžina posega in anestezije je ključna – CS daljši od 75 minut ali anestezija nad 2 uri bistveno povečata tveganje za pogin mladičev.

### MATERIALI IN METODE

Študijo je odobrila Komisija za dobrobit živali VF UL (št. 033-5/2024-3). Vključili smo 14 lastniških psic (>2 kg), ki so potrebovale elektivni (EL-CS) ali urgentni carski rez (U-CS). Psice so bile zdrave, brez zapletov med brejostjo; lastniki so podpisali soglasje za sodelovanje. Razdelili smo jih v dve skupini: CS (samo carski rez) in CS-OVH (carski rez z ovariohisterektomijo). V vsaki skupini je bilo 7 psic. Elektivni CS smo načrtovali na podlagi trajanja brejosti, koncentracije progesterona in UZ spremljanja razvoja plodov. Vse posege smo izvedli po enakem anestezijskem protokolu.

### Klinični pregled in krvne preiskave

Pred posegom smo opravili klinični pregled in odvzem krvi za hemogram, biokemijo in plinsko analizo. Vzorce smo odvzeli pred posegom, šest ur po posegu, 5. dan po posegu in 10. dan po posegu.

Merjeni hematološki parametri so bili: hematokrit (HCT), številčna koncentracija eritrocitov (RBC), levkocitov (WBC) in trombocitov (PLT). Spremljali smo tudi serumske koncentracije sečnine (UREA), kreatinina (CREA), celokupnih serumskih beljakovin (TP), albuminov (ALB), globulinov (BLOB), aktivnost alanin aminotransferaze (ALT), alkalne fosfataze (AP) ter plinska analiza (natrij (Na), kalij (K), kalcij (Ca), klorid (Cl), glukoza (GLU), laktat (LAC), pH).

### Priprava psice

Pred posegom smo izvedli preoksigenacijo (100 % kisik), začeli s tekočinsko terapijo (Hartmanova raztopina 10 ml/kg/h- vsaj 30 minut pred posegom), pripravo operativnega polja in aplikacijo maropitanta (0,1 ml/kg) intravenozno.

### Anestezija

Za uvod v anestezijo smo uporabili propofol (do učinka) in za vzdrževanje sevofluran (FiO2 = 1). Po odstranitvi mladičev smo psicam aplicirali metadon (0,2 mg/kg intravenozno) in meloksikam (0,2 mg/kg intravenozno), po potrebi tudi ketamin (0,5 mg/kg intravenozno). Ob rezno rano smo aplicirali lidoka-



Slika 3: Postnatalna nega novorojenega mladiča

in (2 mg/kg) za spodbujanje kontrakcij maternice in njenega čiščenja ter za spodbujanje izločanja kolostruma podkožno aplicirali oksitocin v odmerku 0,25-1 IE, odvisno od velikosti psice. Med posegom so psice prejemale tekočinsko terapijo, in sicer Hartmannovo raztopino (10 ml/kg/h, po posegu 5 ml/kg/h).

### Kirurški postopek

Carski rez smo izvedli z rezom v srednji liniji in ventralnim rezom maternice. Mladiče smo postopoma odstranili, očistili dihalne poti in predali osebju za neonatalno nego (slika 3). Pri CS-OVH smo po zaključku carskega reza odstranili še maternico in jajčnike. Po spiranju trebušne votline smo votlino zaprli v več slojih. V rezno linijo smo aplicirali lidokain. Čas trajanja anestezije (AN) in operacije (KRG) smo zabeležili.

### Bolečinska lestvica in pooperativna analgezija

Bolečino smo ocenjevali z glasgowsko bolečinsko lestvico (GBL): takoj po zburanju, 6 h po posegu, 12 h po posegu, 18 h po posegu, 24 h po posegu, nato pa enkrat dnevno do 10. dneva po posegu. Po potrebi smo ponavljali metadon intravenozno. Po odpustu so lastniki nadaljevali ocenjevanje in po potrebi dohranjevali mladiče. Pooperativno so psice prejemale meloksikam pri CS 2 dni pri CS-OVH 4 dni.

### Merjenje aktivnosti:

Psicam smo namestili pospeškometer v obliki ovratnice, ki je beležil gibanje in mirovanje do 10. dne po posegu. Podatke smo analizirali v programu MotionWare.

### Ocena po Apgarjevi in rast mladičev

Vitalnost mladičev smo ocenjevali z modificirano Apgarjevo lestvico (<5, 15 in 60 min po rojstvu). Rast smo spremljali do 10. dne z dnevnim tehtanjem; izračunali smo procentni prirast telesne mase glede na porodno težo.

### Statistična analiza

Analize smo izvedli s SPSS 29.0 in RStudio 2025.05.0. Normalnost podatkov smo preverili s Shapiro-Wilkovim testom. Za primerjave med skupinami smo uporabili Mann-Whitney U-test z Bonferroni-jevo korekcijo. Za podatke znotraj skupin: repeated measures ANOVA ali Friedmanov test z Dunnovo post-hoc analizo. Aktivnost smo analizirali z Linear Mixed-Effects Model (LMM). Mejo statistične značilnosti smo postavili pri  $p < 0,05$ .

### REZULTATI

Rezultati so prikazani kot mediana  $\pm$  interkvartilni razmik (IQR). Statistično značilna razlika med skupinama je bila ugotovljena le pri bolečini 18 in 24 ur po posegu, pri ostalih parametrih razlik ni bilo.

### Opisni podatki pacientov

V raziskavo je bilo vključenih 14 psic (7 CS, 7 CS-OVH). Povprečna starost je znašala  $4,1 \pm 1,8$  let (2-8 let), povprečno leglo  $1,7 \pm 1,3$  (1-5), povprečna telesna masa  $22,8 \pm 14,9$  kg (2,4-41,7 kg). Zastopanih je bilo 11 različnih pasem (5 majhnih, 4 srednje, 5 velikih psic). Vse psice so preživele do odstavitve mladičev. Zabeleženi zapleti so bili: driska (2x CS, 1x CS-OVH), mastitis (1x CS), izcedek iz vulve (1x CS-OVH) in bruhanje (1x CS). Ob porodu so bili mrtvi 3 mladiči (1 v skupini CS-OVH, 2 v skupini CS). Do 10. dne so poginili še 4 mladiči (3 v skupini CS-OVH, 1 v skupini CS) ter 1 evtanaziran zaradi zapletov (CS). Mediana velikosti legla: 6 (IQR 2).

Med skupinama (CS in CS-OVH) ni bilo statistično značilnih razlik v vrednostih hematokrita, številčne koncentracije eritrocitov (RBC) ter koncentracij kreatinina, kalcija, klorida, glukoze in laktata v nobenem časovnem obdobju. Znotraj obeh skupin smo šest ur po posegu zaznali značilno znižanje hematokrita in številčne koncentracije eritrocitov (CS:  $p < 0,001$ ; CS-OVH:  $p < 0,05$ ), z naknadnim porastom vrednosti do desetega dne. V skupini CS-OVH

Parameter/ Odvzem		0h		10. dan		Referenčne vrednosti
		CS	CS-OVH	CS	CS-OVH	
ALT (U/L)	Mediana	60,0	58,0	62,0	66,0	21,0-148,0
	IQR	10,0	11,0	58,0	8,0	
ALB (g/L)	Mediana	26,0	25,0	28,0	27,0	26,0-33,0
	IQR	2,0	4,0	2,0	2,0	
TP (g/L)	Mediana	58,0	56,0	61,0	59,0	54,0-71,0
	IQR	4,0	4,0	5,0	6,0	
CREA ( $\mu$ mol/L)	Mediana	75 *	58,0 *	80,0 *	75,5 *	44,2-132,6
	IQR	15,0	37,0	18,0	60,0	
UREA (mmol/L)	Mediana	5,8	5,5	6,1	6,0	2,5-9,6
	IQR	0,6	0,6	0,7	0,9	
AP (U/L)	Mediana	75,0	80,0	84,0	92,0	20,0-156,0
	IQR	10,0	10,0	12,0	12,0	
Globulini (g/L)	Mediana	30,5	31,0	34,0	35,5	27,0-50,0
	IQR	3,0	3,0	3,0	3,0	

\* Statistično značilna razlika pred posegom in deset dni po njem v skupini CS ( $p < 0,05$ )

\* Statistično značilna razlika pred posegom in deset dni po njem v skupini CS-OVH ( $p < 0,05$ )

\* Statistically significant difference before the procedure and ten days after it in the CS group ( $p < 0,05$ )

\* Statistically significant difference before the procedure and ten days after it in the CS-OVH group ( $p < 0,05$ )

Tabela 1: Biokemijski parametri, podani po skupinah glede na odvzem, podani z mediano in interkvartilnim razmikom

smo dodatno ugotovili razliko med petim in desetim dnevom ( $p < 0,05$ ). Koncentracija kreatinina se je v prvih desetih dneh po operaciji v obeh skupinah značilno znižala ( $p < 0,05$ ) (tabela 1). Koncentracija kalcija pa se je statistično značilno zvišala znotraj obeh posameznih skupin v obdobju od šestih ur do desetega dne po posegu (CS:  $p < 0,001$ ; CS-OVH:  $p < 0,05$ ). V skupini CS-OVH smo pri koncentraciji klorida zaznali razlike med šestimi urami ter petim in desetim dnevom po posegu ( $p < 0,05$ ). Vrednosti glukoze so ostale v referenčnem območju; statistično značilna razlika je bila le pri skupini CS pri primerjavi predoperativne vrednosti in vrednosti deseti dan po posegu ( $p < 0,05$ ) (slika 4). Koncentracija laktata se je šest ur po operaciji pomembno znižala v obeh skupinah ( $p < 0,05$ ). Ocena bolečine po glasgowski bolečinski lestvici (GBL) je bila v skupini CS-OVH statistično značilno višja 18 ur ( $p < 0,05$ ) in 24 ur po operaciji ( $p < 0,05$ ) v primerjavi s skupino CS. Mediana GBL je znašala 14 (IQR = 14) pri skupini CS-OVH in 8 (IQR = 11) pri skupini CS. Na rezultate so vplivale individualne razlike med psicami in prisotnost pooperativnih zapletov. Pooperativna aktivnost se je v obeh skupinah postopno povečevala brez statistično značilnih razlik v začetni ravni ali hitrosti okrevanja ( $p > 0,05$ ). Povprečni dnevni porast aktivnosti je bil nekoliko večji v skupini CS-OVH, vendar brez statistično značilnih razlik. Relativni prirast telesne mase mladičev se je v obeh skupinah postopno povečeval brez statistično značilnih razlik

(slika 5). Pri treh psicah (ena CS-OVH, dve CS) je bilo potrebno mladiče dohranjevati zaradi pomanjkanja mleka ali številnejšega legla.

### RAZPRAVA

V sodobni veterinarski praksi strokovnjaki pri odločanju o kirurških posegih, zlasti pri tistih, ki močno vplivajo na fiziologijo organizma, kot je CS, vedno več pozornosti namenjamo dobrobiti živali. V takih primerih se pogosto sprašujemo, ali je smiselno in varno hkrati izvesti OVH ter s tem zmanjšati tveganje za nadaljnje brejosti in zaplete. Z raziskavo smo želeli oceniti, kako hkratna izvedba OVH ob CS vpliva na klinične, hematološke, biokemijske in vedenjske parametre pri psicah ter na vitalnost in rast njihovih mladičev.

Med skupinama CS in CS-OVH ni bilo statistično značilnih razlik pri večini parametrov, razen pri bolečini 18 in 24 ur po posegu. Znotraj skupin so se skozi čas statistično razlikovali HCT, RBC, CREA, Ca, Cl, GLU in LAC.

Perioperativno znižanje HCT in RBC je bilo pričakovano zaradi izgube krvi in tekočinske terapije, vendar so se do 10. dneva vrednosti normalizirale. Podobno so ugotovili tudi Batista in sod. (2014), ki so poročali, da odstranitev maternice ob CS pri

psicah ne povzroči izrazitejšega hematološkega neravnovesja v primerjavi s samim CS. Vrednosti PLT in WBC se niso statistično razlikovale, kar kaže, da odstranitev maternice ob CS ni povzročila klinično pomembne izgube krvi ali sistemskega vnetnega odziva (Espadas-González in sod., 2023).

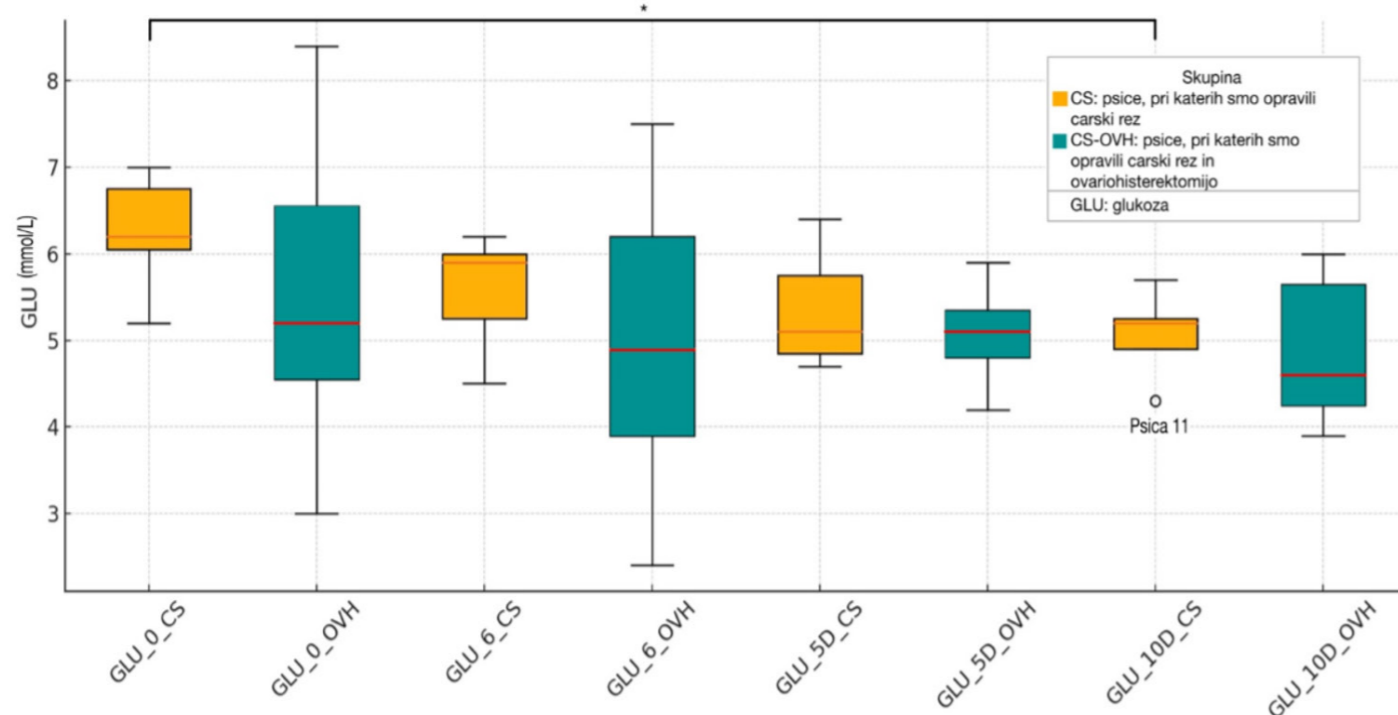
Biokemijski parametri, elektroliti, pH, LAC in GLU so ostali znotraj referenčnih vrednosti, kar kaže na stabilnost metabolizma in homeostaze. Povišan LAC pred posegom je bil povezan s stresom distocije, po posegu pa se je normaliziral. Povišanje vrednosti Ca po posegu pa lahko pripisujemo peripartalnim fiziološkim prilagoditvam. Podobne ugotovitve so poročali Guest in sod. (2023), ki so retrospektivno preučevali vpliv sterilizacije na fiziološke parametre pri psih in ugotovili, da izvedba ovariohisterektomije ob carskem rezu pri psih ne povečuje tveganja za smrt, intraoperativne zaplete ali zmanjšanje sposobnosti skrbi za mladiče.

Pri kliničnih opazovanjih smo zaznali razliko le v oceni bolečine v prvih 24 urah po posegu – psice

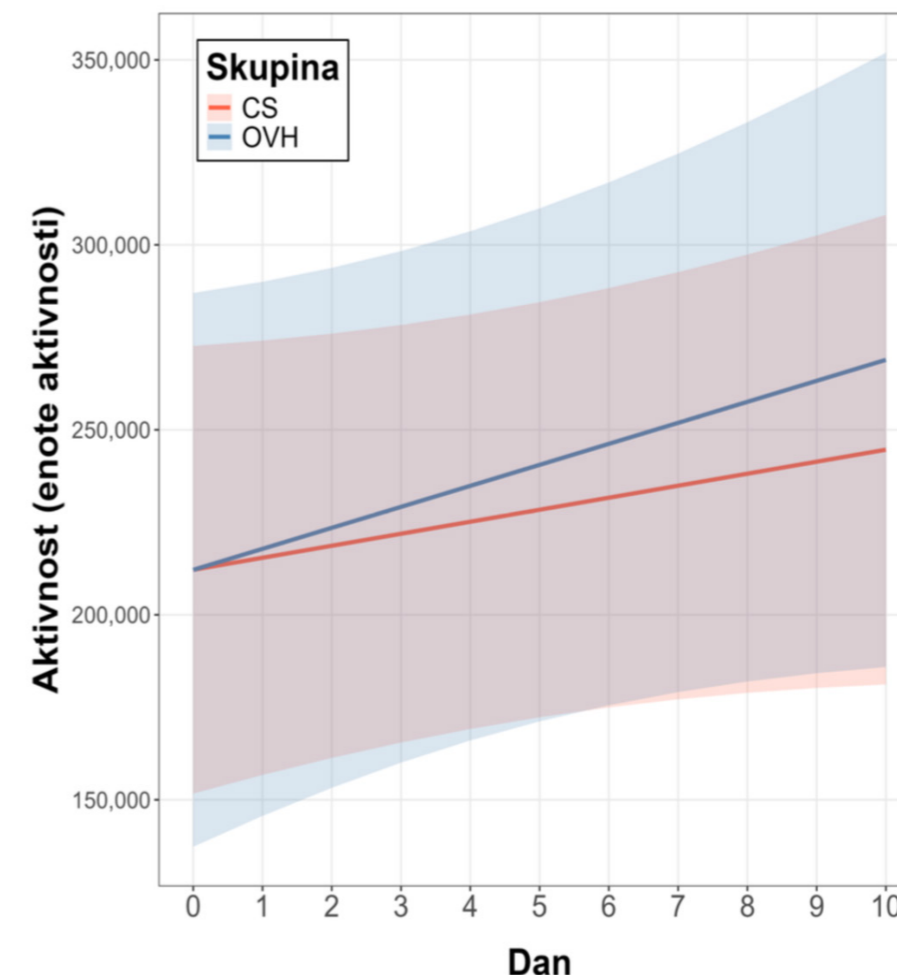
po kombiniranem posegu so občutile nekoliko več bolečine, vendar se je ta hitro umirila in po enem dnevu ni bilo več razlik. Podobne rezultate so zabeležili tudi v raziskavi Guest in sod. (2023). Po 24 urah se je ocena bolečine v obeh skupinah izenačila, kar nakazuje na učinkovito okrevanje in umik akutnega vnetnega odziva. Kirurški poseg in anestezija sta trajala nekoliko dlje v skupini CS-OVH, a ta razlika ni vplivala na okrevanje ali druge klinične kazalnike.

Pri vedenjskih analizah nismo ugotovili razlik v aktivnosti, negi mladičev ali laktacijski sposobnosti, kot so opisali tudi Guest in sod. (2023). Tudi rast in vitalnost mladičev sta potekala podobno v obeh skupinah, kar potrjuje, da dodatni kirurški postopek ni poslabšal njihovega razvoja. Posamezne zaplete, kot so mastitis, pomanjkanje mleka ali prebavne težave, smo opazili v obeh skupinah in niso bili povezani z obsegom posega.

Kombinacija CS in OVH se je izkazala kot varna metoda, ki ne povzroča dodatnega vnetnega



Slika 4: Grafični prikaz spremembe vrednosti glukoze v časovnem obdobju po skupinah



Slika 5: Graf povprečne skupne aktivnosti psic po skupinah v odvisnosti od časa



Slika 6: Pasja mladiča

odziva in ne obremenjuje presnovnega sistema. Ob pravilni anesteziji, analgeziji in ustrezni kirurški izvedbi tak poseg ne ogroža dobrobiti živali in omogoča učinkovito rešitev za lastnike, ki želijo hkrati rešiti akutno reproduktivno težavo ter preprečiti prihodnje brejosti.

Z raziskavo smo pridobili pomembne podatke o fizioloških, biokemijskih in vedenjskih odzivih psic po CS s sočasno sterilizacijo. Naši rezultati potrjujejo, da kombinirani poseg ne povečuje tveganja za zaplete in ne vpliva negativno na mladiče. Zato ga lahko veterinarji ob ustrezni klinični presoji obravnavajo kot varno in etično sprejemljivo prakso.

## LITERATURA

1. Abitbol M. M., Demeter E., Benaroch T. Uterine and ovarian artery blood flow in the pregnant

dog. Attempt at comparative study in pregnant women. *Am J Obstet Gynecol* 1980; 136(6): 780–6. doi: 10.1016/0002-9378(80)90456-1

2. Batista M., Moreno C., Vilar J. et al. Neonatal viability evaluation by Apgar score in puppies delivered by cesarean section in two brachycephalic breeds (English and French bulldog). *Anim Reprod Sci* 2014; 146 (3/4): 218–26. doi: 10.1016/j.anireprosci.2014.03.003

3. Espadas-González L., Usón-Casaús J. M., Pastor-Sirvent N., Santella M., Ezquerro-Calvo J., Pérez-Merino E. M. Using complete blood count-derived inflammatory markers to compare postoperative inflammation in dogs undergoing open or laparoscopic ovariectomy. *Vet Rec* 2023; 193(3): e2835. doi: 10.1002/vetr.2835.

4. Guest K. E., Ellerbrock R. E., Adams D. J., Reed R. A., Grimes J. A. Performing an ovariohysterectomy at the time of c-section does not pose an increase in risk of mortality, intra- or postoperative complications, or decreased mothering ability of the bitch. *J Am Vet Med Assoc* 2023; 261(6): 837–43. doi: 10.2460/javma.23.01.0012

5. Mathews K. A. Analgesia for the pregnant, lactating and neonatal to pediatric cat and dog. *J Vet Emerg Crit Care* 2005; 15(4): 273–84. doi: 10.1111/j.1476-4431.2005.00170.x

6. Plavec T., Knific T., Slapšak A., Raspor S., Lukanc B., Pipan M. Z. canine neonatal assessment by vitality score, amniotic fluid, urine, and umbilical cord blood analysis of glucose, lactate, and cortisol: possible influence of parturition type? *Animals (Basel)* 2022; 12(10): 1247. doi: 10.3390/ani12101247

7. Rodríguez R., Alemán D., Batista M. et al. Maternal and fetal factors for determining the cesarean section type (scheduled/emergency) in bitches. *Theriogenology* 2024; 227: 144–50. doi: 10.1016/j.theriogenology.2024.07.020

8. Schmidt K., Feng C., Wu T., Duke-Novakovski T. Influence of maternal, anesthetic, and surgical factors on neonatal survival after emergency cesarean section in 78 dogs: a retrospective study (2002 to 2020). *Can Vet J* 2021; 62(9): 961–8.

9. Seliškar A., Tomsič K., Kalin A., Mrzdovnik M., Regoršek E., Vlaj L. Bolečina brez besed: informativni priročnik za lastnike živali in študijsko gradivo za študente veterinarstva. Ljubljana: Veterinarska fakulteta, 2019.

10. Traas A. M. Surgical management of canine and feline dystocia. *Theriogenology* 2008; 70(3): 337–42. doi: 10.1016/j.theriogenology.2008.04.014

11. Veronesi M. C. Assessment of canine neonatal viability-the Apgar score. *Reprod Domest Anim* 2016; 51 (1): 46–50. doi: 10.1111/rda.12787

## Za varne in brezskrbne objeme izberite Krkinge učinkovite rešitve proti zajedavcem.

12/2025, 692501-2025, BF



Deluje na  
črevesne gliste, trakulje in srčno glisto.



Deluje na  
bolhe, razvojne oblike bolh, klope in uši.

# EPIDEMIOLOGIJA, PREPREČEVANJE IN NADZOR BOLEZNI MODRIKASTEGA JEZIKA PRI PREŽVEKOVALCIH

Avtorja: Rebeka Rotar, študentka Veterinarske fakultete, Univerza v Ljubljani, prof. dr. Jože Starič, dr. vet. med., Klinika za reprodukcijo in velike živali, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

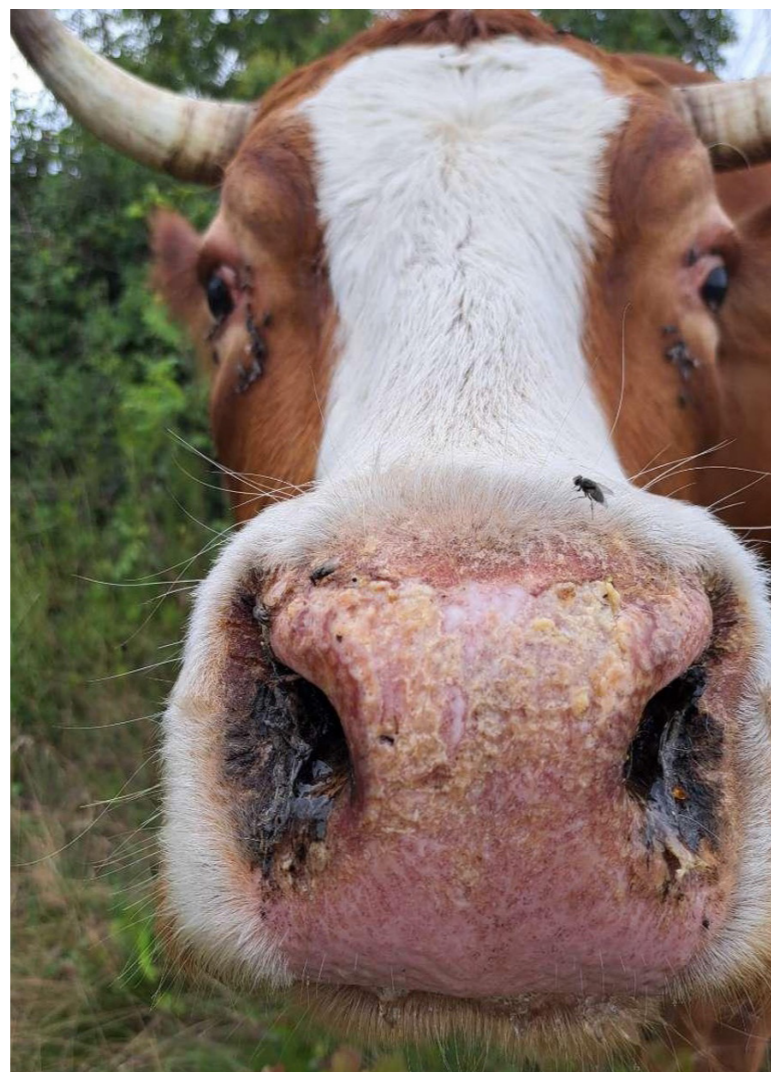
## IZVLEČEK

Bolezen modrikastega jezika je ekonomsko pomembna virusna bolezen prežvekovalcev, ki jo povzroča virus modrikastega jezika oziroma BTV (angl. *bluetongue virus*), ki je predstavnik rodu *Orbiviridae* in družine *Reoviridae*. Najbolj prizadene ovce, kjer povzroča hude klinične znake in lahko vodi v množične pogine. Bolezen se kaže z vročino, krvavitvami in motnjami plodnosti. Pri govedu pogosto poteka subklinično. Virus se širi s pomočjo krvosesihih mušic rodu *Culicoides*, zato lahko okužbe deloma preprečimo tudi z uporabo insekticidov. Najučinkovitejšo zaščito predstavlja cepljenje. Pomemben je stalni nadzor nad boleznijo, ki omogoča uspešno zatiranje bolezni.

Ključne besede: bluetongue; *Orbivirus caerlingue*; ovce; govedo; cepljenje; nadzor bolezni.

## SPLOŠNO O BOLEZNI MODRIKASTEGA JEZIKA

Bolezen modrikastega jezika (angl. *bluetongue*) je virusna bolezen, ki prizadene domače in divje prežvekovalce in lahko povzroča ogromno ekonomsko škodo. Bolezen je najbolj nevarna za ovce. Sporadični primeri se pojavljajo tudi pri mesojedi (1, 2). Povzročajo jo virus modrikastega jezika (BTV). Bolezen se prenaša preko bioloških vektorjev, krvosesihih mušic *Culicoides*, ki virus prenašajo



Slika 1: Govedo, obolelo za BTV. Vir: Jože Starič.

pri sesanju krvi. Okužba povzroči pojav težje oblike bolezni najpogosteje pri ovcah, belorepih jelenih in nekaterih vrstah antilop, pri govedu, kozah in kamelidih pa bolezen poteka najpogosteje subklinično (1). Virus modrikastega jezika se razmnožuje v mononuklearnih fagocitih, endotelijskih celicah, limfocitih in nekaterih drugih celicah limfoidnega tkiva, pljuč, kože in drugih organov. Okuženi prežvekovalci imajo dlje trajajočo viremijo. Virus povzroči poškodbe majhnih žil pljuč, vranice, limfnih vozlov in reprodukcijskega trakta, zaradi česar opazimo krvavitve in ulkuse v ustni votlini in zgornjem prebavnem traktu, nekroze skeletne in srčne mišičnine, edem pljuč itd. (2).

## EPIDEMIOLOGIJA

Bolezen modrikastega jezika je ekonomsko zelo pomembna virusna bolezen prežvekovalcev in predstavlja eno izmed najbolj razširjenih živalskih bolezni (3). BTV sodi v rod *Orbivirus*, novo vrstno ime virusa je *Orbivirus caerlingue* in spada v družino *Reoviridae*, za katere je značilna dvojna dsRNA, ki jo ovija kapsida iz 1-3 beljakovinskih plasti (4).

Virus se prenaša preko krvosesihih mušic iz rodu *Culicoides*, ki so biološki vektor. Mušica postane kužna približno 7 dni po pitju krvi obolele živali, ko se virus iz njenega prebavnega trakta razširi v slinske žleze, iz katerih se ob pitju sprošča v gostitelja. Krvosese so samo samice kulikoidov in ostanejo kužne celotno življenje. Prenasajo lahko vseh 24 patogenih klasičnih serotipov virusa modrikastega jezika (3, 4).

Okužbe z BTV so se v preteklosti pojavljale le v tropskih delih sveta in predelih, ki se od ekvatorja nahajajo 50° severno in 30° južno. V zadnjem času pa se je bolezen razširila preko omenjenega pasu, saj se njeni vektorji, krvosese mušice *Culicoides*, nahajajo tudi izven tega pasu. Na vsakem območju se nahajajo različne vrste vektorjev, ki so sposobne prenašati BTV. Vsak vdor virusa v novo okolje predstavlja selekcijo določenih genov BTV, še posebej tistih, ki kodirajo proteine VP3 in NS3/3A, kar vodi v nastanek geografsko specifičnih genetskih virusnih topotipov. Prisotnost večjega števila serotipov in sevov tega virusa je pomembno za regionalno vzdrževanje virusa skozi leta, zato BTV dolgoročno obstaja samo na predelih sveta, kjer kroži več kot en serotip virusa. Okužbe z BTV se pojavljajo v tropskih predelih čez celotno leto, medtem ko se okužbe v drugih predelih pojavljajo sezonsko, predvsem pozno poleti in jeseni (4).

## PREPREČEVANJE

Poznamo številne načine preprečevanja širjenja virusa modrikastega jezika, kot so cepljenje, ustvarjanje con in zatiranje krvosesihih mušic (1, 4).

Najučinkovitejši način zaščite predstavlja masovno cepljenje, za katerega je po matematičnem modelu, ki ga je pripravila EFSA (European Food Safety Authority), za uspešno eradikacijo potreben vsaj 5-letni program (1, 5). Danes se po svetu uporablja inaktivirana in živa atenuirana cepiva, ki so različno dostopna v večini predelov sveta, kjer se srečujejo s to boleznijo. Inaktivirana cepiva so dražja in manj imunogena, vendar so varnejša, saj imajo živa atenuirana cepiva potencial prenosa v naravi, ponovnega pojava virulentnosti in sposobnost prehajanja skozi placento (4). Pred letom 2005 se je uporabljalo zgolj živa atenuirana cepiva, s katerimi so cepili le ovce, z izjemo Italije, kjer so cepivo uporabljali za vse domače prežvekovalce. S pojavom inaktiviranih cepiv je cepljenje postalo bolj dostopno, zaradi česar so v nov program cepljenja vključili tudi govedo in koze (6). Bistveno je, da živali cepimo s cepivom, ki deluje na lokalne serotipe. Za doseganje celovite zaščite se priporoča uporaba cepiva, ki deluje na vse regionalne serotipe, saj je navzkrižna zaščita med različnimi serotipi nezadostna. Cepljenje živali se priporoča pred sezonskim obdobjem prenosov virusa, ki je najizrazitejše pozno poleti in jeseni. S tem se prepreči tudi okužba vektorjev. Pred sezono vektorjev je nujno na področjih, kjer uporabljajo žive vakcine, saj se zmanjša verjetnost rekombinacije med cepivom in sevi iz narave. Najnovejša cepiva so t. i. DIVA cepiva, ki omogočajo ločevanje osebkov, ki imajo protitelesa zaradi cepljenja in tista, ki so nastala zaradi okužbe (4).

Zatiranje mušic bi bila odlična rešitev, ki pa se večkrat izkaže za nepraktično in na obsežnih pašnih območjih neuspešno. Prežvekovalce lahko pred pikanjem krvosesihih členonožcev zaščitimo z nastanitvijo v hlevih in tako zmanjšamo izpostavljenost živali mušicam in potencialnemu prenosu virusa. Dragocene živali se priporoča nastaniti v pred mušicami popolnoma zaščitene objekte, prav tako pa se priporoča uporaba repelentov (4).

## NADZOR BOLEZNI

Nadzor je eden najpomembnejših ukrepov, ki ga je potrebno izvajati za uspešno zatiranje bolezni. Poznamo aktivni, pasivni in tarčni nadzor. Z ak-

ktivnim nadzorom sistematično spremljamo vse za bolezen dovzetne živali in prisotnost kompetentnih vektorjev. V sklopu aktivnega nadzora so vse na novo uvožene živali serološko testirane. Uvoz vseh živali iz držav in regij, v katerih so živali izpostavljene virusu ali pa so na seznamu omejenih držav, spremljamo s tarčnim nadzorom. S pasivnim nadzorom beležimo vse prijavljene pozitivne osebe, najpogosteje klinično bolne (7).

Uredba komisije EU 1266/2007 je bila spremenjena z Izvedbeno uredbo komisije 456/2012, ki je spremenila minimalne zahteve za spremljanje in nadzor bolezni modrikastega jezika. Opisani so kriteriji, ki jih morajo države članice izpolnjevati, da dokazujejo odsotnost virusa bolezni modrikastega jezika. Zahtevano je pasivno klinično spremljanje in aktivno spremljanje, ki vključuje serološko in virološko testiranje reprezentativnih vzorcev goveda, ki bi zaznal bolezen s prevalenco 20 %, z 95 % gotovostjo v vsaki regiji velikosti 45 x 45 km in entomološko spremljanje vektorjev. Zakonodaja državam članicam pusti, da v okviru omenjenih kriterijev oblikuje svojo lastno strategijo spremljanja bolezni (7).

## ZAKLJUČEK

Bolezen modrikastega jezika ostaja pomemben izziv za živinorejce. Čeprav bolezen za človeka ni nevarna, ima lahko resne posledice za zdravje in produktivnost živali, kar predstavlja problem za dobrobit živali in ekonomski problem za rejce. Evropska zakonodaja je predvidela aspekte za obvladovanje bolezni in predstavlja dobro osnovo nadzoro-

vanja in zatiranja, državam članicam pa prepušča odločitev glede zatiranja bolezni (bolezen je na listi C v novem zakonu o zdravju živali). Ključnega pomena je diagnostika, ki se jo v Sloveniji izvaja v laboratoriju za bolezen modrikastega jezika, entomološko spremljanje pa izvaja parazitološki laboratorij, oba na Veterinarski fakulteti.

## LITERATURA

1. Saminathan M., Singh K. P., Khorajija J. H., Dinesh M., Vineetha S., Maity M. et al. An updated review on bluetongue virus: epidemiology, pathobiology, and advances in diagnosis and control with special reference to India. *Vet Q.* 2020 Dec;40(1):258–321.
2. Maclachlan N. J., Drew C. P., Darpel K. E., Worwa G. The pathology and pathogenesis of bluetongue. *J Comp Pathol.* 2009 July;141(1):1–16.
3. Roy P. Bluetongue virus assembly and exit pathways. *Adv Virus Res.* 2020;108:249–73.
4. Maclachlan N. J., Mayo C. E., Daniels P. W., Savini G., Zientara S., Gibbs E. P. J. Bluetongue. *Rev Sci Tech Int Off Epizoot.* 2015 Aug;34(2):329–40.
5. EFSA Panel on Animal Health and Welfare. Bluetongue: control, surveillance and safe movement of animals. *EFSA J Eur Food Saf Auth.* 2017 Mar;15(3):e04698.
6. Zientara S., Sánchez-Vizcaíno J. M. Control of bluetongue in Europe. *Vet Microbiol.* 2013 July 26;165(1–2):33–7.
7. Georgaki A., Murchie A., McKeown I., Mercer D., Millington S., Thurston W. et al. Bluetongue Disease Control in Northern Ireland During 2017 and 2018. *Front Vet Sci.* 2019;6:456.

# DIAGNOSTIKA IN UKREPI PRI BRUCELOZI

Avtorici: Maša Gosar, študentka Veterinarske fakultete, asist. dr. Irena Golinar Oven, dr. vet. med., Klinika za prežvekovalce in prašiče, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## IZVLEČEK

Bruceloza pri prašičih je pomembna zoonoza, ki jo povzroča *Brucella suis*. Bolezen se prenaša preko kontaminiranih izločkov in tkiv okuženih živali, možen pa je tudi neposreden prenos na ljudi. Diagnostika temelji na kombinaciji kliničnih znakov, patoanatomskih in patohistoloških sprememb, dokazovanju povzročitelja (bakterijska izolacija in molekularna metoda PCR) in seroloških testih, kot so serum aglutinacijski test, Rose-Bengal test, test reakcije fiksacije komplementa in test ELISA. Ukrepi ob sumu na bolezen vključujejo prijavo sumljivega primera, zadržanje živali na gospodarstvu, prepoved premikov in izvedbo epizootiološke preiskave. Po potrditvi bolezni sledi usmrtitev okuženih živali, varno uničenje kužnega materiala, razkuževanje objektov ter serološko testiranje preostale črede. Cepljenje proti brucelozi ni dovoljeno, zato imajo velik pomen biovarnostni ukrepi.

Ključne besede: bruceloza; *Brucella suis*; prašiči.

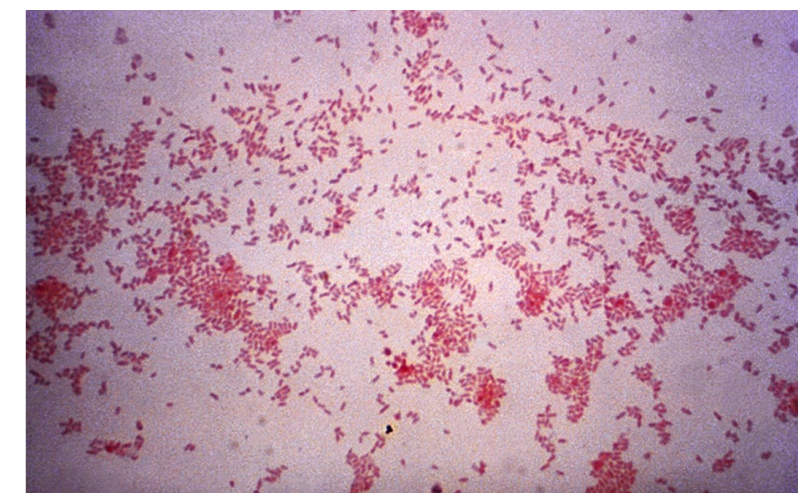
## SPLOŠNO O POVZROČITELJU IN BOLEZNI

Bruceloza je zoonoza in gospodarsko pomembna bolezen, o kateri poročajo po vsem svetu. Prizadene prašiče in druge domače živali, vključno s človekom. Prašiči se okužijo z bakterijo *Brucella suis*, ki je odgovorna za številne težave z reproduktivnim zdravjem živali. *B. suis* je gram negativni, negibljivi, fakultativni intracelularni kokobacil, ki ne tvori spor (slika 1). Trenutno je razdeljena na pet biovarov, pri čemer so biovari 1, 2 in 3 odgovorni za brucelozo pri prašičih (Chitradevi in sod., 2024). Biovara 1 in 3 sta patogeni tudi za ljudi, biovar 2 pa zelo redko povzroča okužbo pri ljudeh (Olsen in Tatum, 2016). Biovar 4 je patogen za severne jelene, biovar 5 pa so izolirali pri glodalcih (Chitradevi in sod., 2024).

Slovenija je izkoreninila brucelozo pri farmskih živalih že v 50-ih in 60-ih letih prejšnjega stoletja. *B. suis* se občasno pojavlja pri zajcih, bolj pogosto pa pri divjih prašičih, vendar gre pri omenjenih primerih za biovar 2, ki praviloma ni patogen za človeka (Krt in sod., 2019).

Prašiči se okužijo predvsem preko krme ali vode, kontaminirane z abortiranimi plodovi, placento, plodovimi tekočinami ali vaginalnim izcedkom okužene svinje. Bakterije se izločajo tudi preko mleka, urina in semenske tekočine. Občasno se prašiči lahko okužijo preko očesnih veznic ali katere koli rane na koži, vendar imajo te poti okužbe manjši epidemiološki pomen. Glavni vir okužbe v hlevu je vnos novo-nabavljenih in okuženih živali ter izposoja okuženega merjasca med različnimi farmami. Širjenje okužbe je možno tudi preko vektorjev, psov, mačk, divjih ptic in nastilja (Chitradevi in sod., 2024).

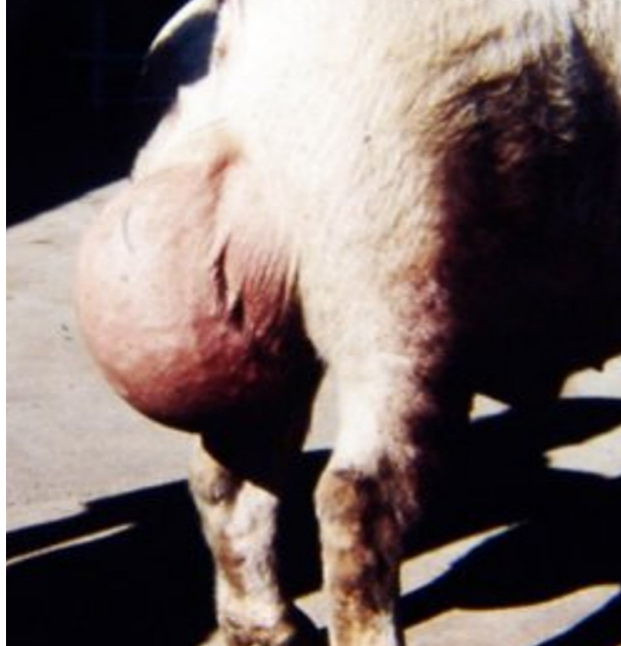
Poleg negativnih posledic za živali bruceloza pri prašičih predstavlja tudi tveganje za ljudi, saj se lahko človek okuži z okuženimi živalskimi proizvodi in



Slika 1: *Brucella suis* (Miroslav, 2025)



Fotografija: Anja Rebec



Slika 2: Unilateralna oteklina testisa pri merjascu (Megid in sod., 2010)

z neposrednim stikom z okuženimi prašiči. Zdravljenje okuženih živali v komercialnih rejah ni dovoljeno, zato se okuženi posamezniki običajno izločijo iz reje, kar lahko povzroči znatne gospodarske izgube. Preprečevanje prenosa na ljudi je ključnega pomena za javno zdravje (Krt in sod., 2019).

## DIAGNOSTIKA BOLEZNI

### Klinična znamenja

Okužene svinje imajo različna klinična znamenja, kot so abortusi, mrtvorojeni pujski ali rojstvo šibkih pujskov ter manjša gnezda. Abortusi se lahko pojavijo v kateri koli fazi brejosti, najpogosteje v srednji do pozni brejosti. Pri okuženih svinjah lahko pride do metritisa in retencije placente (Chitradevi in sod., 2024).

Pri merjascih se pojavljata orhitis in epididimitis (Chitradevi in sod., 2024). Opazna je oteklina testisov in nadmodkov, ki kasneje atrofirajo (slika 2). Proces je pogosto unilateralen (Nielsen in Duncan, 1990). Pri okuženih merjascih se lahko pojavita neplodnost in pomanjkanje spolne aktivnosti, kar je pogosto povezano s prizadetostjo mod. Pogosteje imajo merjasci okužbe v akcesornih spolnih žlezah, vendar ni nujno, da to vpliva na plodnost (Megid in sod., 2010).

Pri obeh spolih lahko opazimo tudi paralizo in šepavost, ki nastane zaradi limfadenitisa, artritisa, podkožnih abscesov in spondilitisa. Klinična znamenja pred spolno zrelostjo so večinoma omejena na otekle sklepe in šepavost. Okužba z *B. suis* lahko poteka tudi asimptomasko (Chitradevi in sod., 2024).

### Patoanatomske in patohistološke spremembe

Organi abortiranih plodov so lahko otečeni, iz rezne ploskve se izceja s krvjo obarvana tekočina ali pa organi na videz izgledajo nespremenjeni. Plod se lahko rodi z ohranjeno plodovno ovojnico (Nielsen in Duncan, 1990). Histološko pri abortiranih plodovih najdemo obsežno limfocitno bronhointersticijsko pljučnico, za katero je značilna zadebelitev alveolarnih sept, zlasti v peribronhialnih in peribronhio-larnih območjih. V bronhih in bronhiolih je veliko nekrotičnih sprememb, prisotni so nevtrofilci ter deskvamacijski alveolitis. Amnijske epitelne celice in mekonij se lahko nahajajo v terminalnih bronhiolih in alveolah. V jetrih je opazen multifokalen gnojni hepatitis z občasno hepatocelularno nekrozo. Vranica ne kaže pomembnih sprememb. V korteksu timusa in bezgavkah najdemo limfoidno deplecijo. Srce, ledvice in možgani imajo blage multifokalne intersticijske krvavitve (Rebollada-Merino in sod., 2023).

Svinja ima lahko kataralno vnetje maternice in mastitis (Nielsen in Duncan, 1990). Histološko je prisoten akutni nekrohemoragični placentitis. Opazimo razširjene placentalne resice zaradi krvavitve ter občasno prisotnih makrofagov, nevtrofilcev in limfocitov. Trofoblasti horijskega epitela so nekrotični in se luščijo v lumen. V popkovini so prisotne zmerne do hude perivaskularne krvavitve (Rebollada-Merino in sod., 2023).

Pri merjascih je najpogosteje prizadeta akcesorna spolna žleza mehurnica (*glandula vesicularis*). V zgodnjih fazah pride do akutnega vnetja, ki lahko preide v kroničnega s sklerozo in nastankom drobnih abscesov ali enega večjega abscesa. Podobne spremembe so lahko prisotne tudi v prostati. Testisi so otečeni, včasih pride do tvorbe abscesov, nato do skleroze in atrofije. Občasno se pojavijo vozlički v vranici ali jetrih ter abscesi v kosteh, sklepih in burzah pri obeh spolih (Nielsen in Duncan, 1990).

Spremembe v ledvicah, vranici, možganih, jajčnikih, testisih, nadledvičnih žlezah, pljučih in drugih tkivih so v bistvu granulomi s hiperplazijo vezivnega tkiva, nekrozo in drobnimi abscesi, ki se včasih združijo v en velik gnojni absces, ki lahko kasneje preide v kazeozno obliko. Bezgavke pogosto ne kažejo vidnih sprememb, vendar so lahko v bližini spremenjenih tkiv rumenkaste, majhne in trde, z drobnimi abscesi (Nielsen in Duncan, 1990).

### Dokaz povzročitelja

Za mikroskopski pregled se uporablja modificirano barvanje po Ziehl-Neelsenu, kjer ugotavljamo prisotnost gram negativnih kokobacilov, urejenih posamično in/ali v parih. Ta metoda ima manjšo občutljivost in specifičnost (Chitradevi in sod., 2024).

Bakterijska izolacija je v večini laboratorijev neizvedljiva zaradi počasne rasti brucel in vitro, visokih stroškov, povezanih z mikrobiološkim testiranjem, in pomislekov glede biološke varnosti pri delu z izolati *B. suis*. Kljub temu je izolacija bakterije verjetno najbolj natančna in občutljiva metoda za diagnosticiranje bruceloze pri prašičih. *B. suis* lahko raste na standardnih gojiščih za brucele brez dodanega CO<sub>2</sub>. Identifikacija na ravni vrste in biovara se izvaja s fagotipizacijo in biokemičnimi testi, ki jih običajno opravljajo specializirani laboratoriji. Vzorci primerni za bakterijsko izolacijo so vaginalni brisi, abortirani plodovi, semenski vzorci, testisi, sklepna tekočina in vzorci krvi (Whatmore, 2016).

Antigen *B. suis* v tkivih okuženih prašičev lahko dokažemo tudi z uporabo imunofluorescence. Z imunofluorescenčnimi metodami bakterijo redko odkrijemo v odtisih bezgavk, saj je njena koncentracija v teh vzorcih običajno nizka. Kljub temu je ta metoda lahko uporabna pri pregledu abortiranega materiala, kjer so količine *B. suis* precej večje (Whatmore, 2016).

V zadnjih letih se molekularne metode vse bolj uporabljajo za dokazovanje in karakterizacijo brucel. Razvitih je bilo več molekularnih metod za tipizacijo *B. suis*, ki omogočajo določanje na ravni vrste

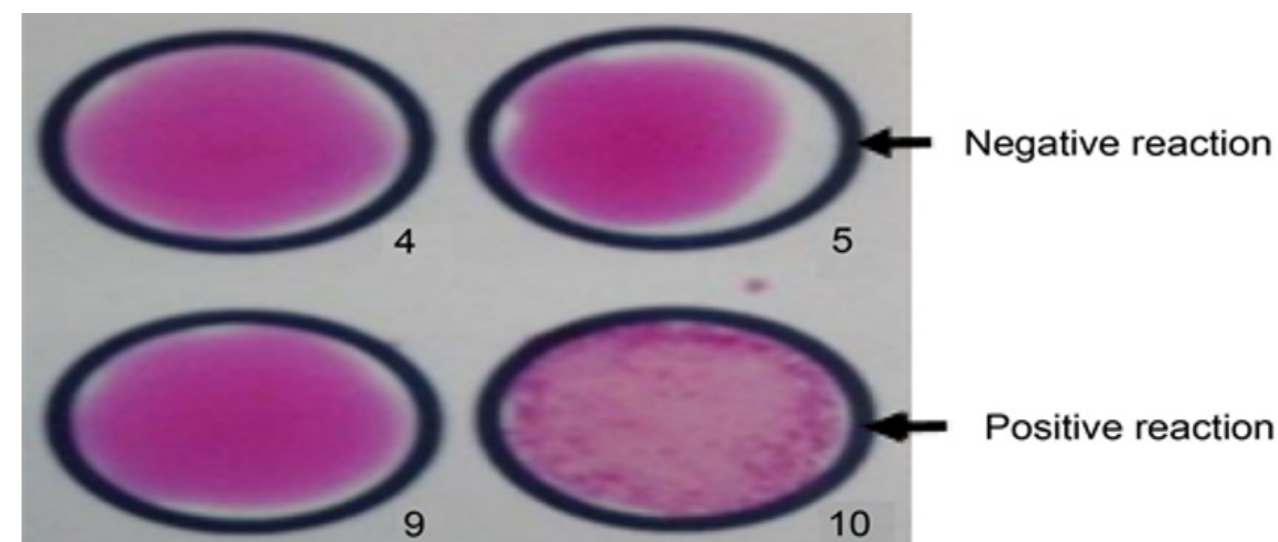
(»Bruce-ladder« multipleks PCR, genska tipizacija polimorfizmov posameznih nukleotidov – SNP tipizacija), biovara (SNP tipizacija) in sub-biovara (multilokusna sekvenčna tipizacija in multilokusna tipizacija s spremenljivim številom tandemskih ponovitev). Ta orodja so vse bolj uporabna za razumevanje globalne in lokalne epidemiologije ter za sledenje prenosu in širjenju sevov (Whatmore, 2016).

### Dokaz protiteles

Čprav so serološki testi najučinkovitejša in najpogosteje uporabljena metoda za diagnosticiranje bruceloze pri prašičih, njihova specifičnost in občutljivost nista visoki. Raziskave so pokazale, da lahko do 18 % zdravih prašičev reagira s titrom 1:25 pri testu serum aglutinacije. Prašičem, ki so bili izpostavljeni minimalnim infektivnim odmerkom *B. suis*, se lahko podaljša inkubacijska doba, zato se lahko tudi protitelesa zaznajo kasneje. Zaradi različnih stadijev bolezni v okuženi skupini prašičev se lahko zgodi, da se pri nekaterih prašičih protitelesa ne bodo dokazala. Poleg tega nekateri sevi *B. suis* ne spodbujajo tvorbe protiteles tako močno kot drugi. Trenutni serološki testi niso učinkoviti za diagnozo pri posameznih prašičih, temveč se morajo uporabljati kot čredni testi (Whatmore, 2016).

Najpogosteje uporabljeni serološki testi so serum aglutinacijski test, Rose-Bengal test, test reakcije fiksacije komplementa (CFT) in test ELISA (Whatmore, 2016).

Mnogi od teh testov so bili prvotno razviti za diagnostiko goveje bruceloze in so bili kasneje prilago-



Slika 3: Negativna in pozitivna reakcija pri Rose-Bengal testu (Kamga in sod., 2021)

jeni za testiranje na prašičjih serumih. Pogosto se uporabljajo standardizirani antigeni iz sevov *B. abortus*, ker imajo enak ali zelo podoben površinski lipopolisaharidni kompleks kot gladki sevi *B. suis* (Whatmore, 2016).

V lipopolisaharidnem kompleksu *B. suis* so prisotni epitopi, ki križno reagirajo z bakterijami, kot je *Yersinia enterocolitica* O:9, kar lahko zaplete serološko diagnostiko. *Y. enterocolitica* je bila izolirana v številnih čredah, kjer so bili prašiči serološko pozitivni, vendar *B. suis* ni bila potrjena (Whatmore, 2016). Prav tako lahko dobimo lažno serološko pozitivne rezultate na brucelozo pri nekaterih serotipih salmonel in pri *Francisella tularensis* (Chitradevi in sod., 2024).

Serum aglutinacijski testi so občutljivi, vendar ne dovolj specifični, da bi se uporabljali samostojno (Whatmore, 2016).

Pri testu z antigenom v pufru se uporablja obarvane bruceline antigene pri pH 3.65, zato so ti testi bolj specifični; test z antigenom na plošči in Rose-Bengal test (slika 3) se uporabljata kot presejalna testa in sta najbolj praktična diagnostična testa za brucelozo pri prašičih (Whatmore, 2016).

Danes so predpisani testi za mednarodno trgovino test indirektna in kompetitivna ELISA, Rose-Bengal test, test reakcije fiksacije komplementa in test fluorescentne polarizacije (FPA) (Whatmore, 2016).

## UKREPI

### Ukrepi ob sumu na brucelozo

Pooblaščen veterinarska organizacija mora ob sumu na brucelozo nemudoma potrditi ali ovreči sum ter o tem obvestiti Upravo za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (UVHVVR), ki nato skliče člane Državnega središča za nadzor bolezni (DSNB), ki nadzoruje ukrepe za ugotavljanje, preprečevanje in zatiranje bolezni. Po prijavi suma bolezni je treba poslati trupla poginulih živali in krvne vzorce na preiskavo ter izvesti epizootiološko poizvedovanje in zagotoviti neškodljivo uničenje trupel. Na sumljivem gospodarstvu je potrebno izvesti zaporo žarišča okužbe, opraviti popis vseh živali, prepovedati gibanje živali, oseb, prevoznih sredstev in drugih stvari, ki bi lahko prenašale povzročitelja bolezni, postaviti dezinfekcijske bariere in izvesti nadaljnje ukrepe za preprečevanje širjenja bolezni. Ukrepi so v veljavi, dokler se sum bolezni

uradno ne izključi (Navodilo o ukrepih za ugotavljanje, preprečevanje in zatiranje bruceloze, 1999).

Redna serološka testiranja ob nakupih novih živali in pošiljanje vzorcev v laboratorijsko preiskavo ob abortusih in ob prisotnosti drugih kliničnih znakov, na podlagi katerih posumimo na brucelozo, so pomembna za čimprejšnjo potrditev bolezni (Chitradevi in sod., 2024).

### Ukrepi po potrditvi bruceloze

Bruceloza predstavlja tveganje za prenos na ljudi. Zaradi teh razlogov se ob uradni potrditvi bolezni farmskih živali v Sloveniji ne zdravi, temveč se jih izloči iz reje (Krt in sod., 2019).

Na okuženem gospodarstvu se odredi neškodljivo uničenje poginulih ali usmrčenih živali in abortiranih plodov, posteljic in plodovih ovojnic ter drugih odpadkov, s katerimi se lahko prenese kužna bolezen, pregled vseh dovzetnih živali, prepoved uporabe živali za pleme ter izvedbo dezinfekcije, dezinsekcije in deratizacije vseh objektov, prevoznih sredstev in opreme, ki so bili v stiku z okuženimi ali sumljivimi živalmi. Ukrepi na okuženem gospodarstvu ostanejo v veljavi do negativnih rezultatov potrditvenih testov (Navodilo o ukrepih za ugotavljanje, preprečevanje in zatiranje bruceloze, 1999).

### Preventivni ukrepi, s katerimi se prepreči vnos povzročitelja v čredo

Izvajanje strogih biovarnostnih ukrepov na farmah je ključno za preprečevanje in nadzor bolezni. Prašiče je potrebno kupovati iz preverjenih rej, prostih okužbe z *B. suis*, in dati v karanteno pred vnosom v obstoječo čredo. Plemenski merjasci, katerih seme se uporablja za umetno osemenje, pa morajo biti redno serološko testirani (Chitradevi in sod., 2024).

## ZAKLJUČEK

Bruceloza pri prašičih, ki jo povzroča *B. suis*, ostaja pomembna zoonotska bolezen z resnimi posledicami za zdravje živali in ljudi. Klinična znamenja bolezni vključujejo reproduktivne motnje, šepavost in vnetje spolnih organov, medtem ko je diagnoza mogoča s kombinacijo bakterioloških, seroloških in molekularnih metod. Zaradi prepovedi cepljenja in zdravljenja je nadzor bruceloze osredotočen na preventivne ukrepe in izločanje okuženih živali

(Chitradevi in sod., 2024). V Sloveniji so v primeru izbruha bolezni predpisani veterinarski ukrepi za preprečevanje širjenja okužbe v druge reje in zaščito javnega zdravja (Navodilo o ukrepih za ugotavljanje, preprečevanje in zatiranje bruceloze, 1999).

Ugotavljanje bruceloze pri prašičih je precej zahtevno, saj moramo zanesljivo prepoznati vse okužene živali, po drugi strani pa se moramo izogniti temu, da bi diagnostični testi pokazali lažno pozitiven in lažno negativen rezultat. Presejalni testi so nepogrešljivi za hitro identifikacijo pozitivnih živali, a morajo biti rezultati vedno potrjeni še s potrditvenimi testi.

## LITERATURA

1. Aziz K. Drugs-of-abuse testing. Screening and confirmation. Clin Lab Med 1990: 493–502.
2. Chitradevi S., Rathnapraba S., Richard Jagatheesan R. P. N. Swine brucellosis: A mini review. International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry; 2024; SP-9(5): 4247. doi: <https://doi.org/10.22271/veterinary.2024.v9.i5Sg.1819>
3. Kamga R., Assongo B., Magang E. et al. Sero-prevalence of Brucella Antibodies and Risk Factors Associated with Human Brucellosis in High-Risk Occupational Groups of the Noun Division in the West Region of Cameroon. Journal of Biosciences and Medicines, 2021; 9: 105–123. doi: [10.4236/jbm.2021.93011](https://doi.org/10.4236/jbm.2021.93011)
4. Krt B., Trop Skaza A., Avberšek J. et al. Bruceloza v Sloveniji, opis primerov 2019. One Health 2019 = Eno zdravje: zbornik povzetkov. Ljubljana: Veterinarska fakulteta, 2019: 8–10.
5. Megid J., Mathias L. A., Robles C. A. Clinical Manifestations of Brucellosis in Domestic Animals and Humans. The Open Veterinary Science Journal 2010; 4: 119–26. doi: [10.2174/1874318801004010119](https://doi.org/10.2174/1874318801004010119)
6. Miroslav Đ. Brucellosis (Brucella suis). CABI Compendium. 2025. doi: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.68584>
7. Navodilo o ukrepih za ugotavljanje, preprečevanje in zatiranje bruceloze (Brucellosis). Ur list RS 1999; 30/99, 33/01 – ZVet-1 in 91/05. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=NAVO8> (25. 3. 2025)
8. Nielsen K., Duncan J. R. Animal brucellosis. 1st ed. Boca Raton: CRC press, 1990: 416. doi: <https://doi.org/10.1201/9781351069687>
9. Olsen S., Tatum F. Swine brucellosis: current perspectives. Veterinary Medicine: Research and Reports 2016; 8: 1–12. doi: <https://doi.org/10.2147/>

VMRR.S91360

9. Rebollada-Merino A., García-Seco T., Pérez-Sancho M., Domínguez L., Rodríguez-Bertos A. Histopathologic and immunohistochemical findings in the placentas and fetuses of domestic swine naturally infected with Brucella suis biovar 2. J Vet Diagn Invest 2023: 258–65. doi: [10.1177/10406387231163867](https://doi.org/10.1177/10406387231163867)

10. Whatmore A. Brucellosis (Brucella suis). 2016. doi: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.68584>



Fotografija: Anja Rebec

# PRAŠIČJA INFLUENCA IN JAVNO ZDRAVJE

Avtorja: Lucija Žagar, študentka Veterinarske fakultete, Univerza v Ljubljani, asist. dr. Irena Golinar Oven, Klinika za prežvekovalce in prašiče, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## IZVLEČEK

Prašičja influenza (PI) je obolenje dihal, ki jo povzroča virus influenza A (IAV). Virus je endemično prisoten v številnih rejah prašičev. V Evropi se pojavljajo predvsem podtipi H1N1, H3N2 in H1N2. IAV povzroča velike ekonomske izgube in je potencialna grožnja za javno zdravje zaradi možnosti prenosa na ljudi in nastanka novih pandemičnih sevov s prerazporeditvijo genetskih segmentov v prašičih.

Ključne besede: prašiči; virusi influence A; obolenje dihal; genetsko spreminjanje; javno zdravje.

## ETIOLOGIJA

Prašičjo influenco povzročajo virusi influence A iz družine *Orthomyxoviridae*, ki vsebuje sedem rodov: *Influenzavirus A*, B, C, D, *Isavirus*, *Quaranjavirus* in *Thogotovirus* (Van Reeth in Vincent, 2019). Okužijo lahko širok spekter gostiteljskih vrst, vključno s pticami, sesalci in netopirji. Virusi influence B povzročajo predvsem respiratorne bolezni pri ljudeh, lahko pa okužijo tudi tjujnje in prašiče. Virusi influence C se pojavljajo pri ljudeh in prašičih. Virus influence D so prvič izolirali iz bolnega prašiča leta 2011, čeprav ta virus prizadene predvsem govedo, pri ljudeh pa ne povzroča bolezni. Med temi rodovi je pri prašičih klinično pomemben le IAV (Centers for Disease Control and Prevention, 2024a).

Obstaja več podtipov IAV, kar določata hemaglutinaza (HA) in nevraminidaza (NA), glikoproteina na površini virusne ovojnice. Obstaja 18 različnih HA in 11 različnih NA, ki povzročita nastanek različnih kombinacij virusa (npr. H1N1, H3N2) (Van Reeth in Vincent, 2019). Virusi influence imajo ovojnico, so različnih oblik in merijo 80–120 nm. Zaradi zgradbe lipidne ovojnice so močno občutljivi na detergente

in razkužila (Van Reeth in Vincent, 2019).

Virusni genom influence sestavlja od 7 do 8 segmentov negativno orientirane ribonukleinske kisline (RNA). Prav ta segmentiranost genoma omogoča izmenjavo segmentov RNA pri sočasni okužbi z dvema nesorodnima IAV, kar imenujemo genetska preureditev (angl. *genetic reassortment*) (Van Reeth in Vincent, 2019), zato se IAV nenehno spreminjajo (Centers for Disease Control and Prevention, 2024a). Prašiči imajo poleg prašičjih tudi receptorje za aviarnne in humane IAV, zato imajo pomembno vlogo pri nastanku novih IAV (Al Hajjar in McIntosh, 2010). Prašiči so pogosto označeni kot »mešalne posode« za viruse influence, saj lahko v njih pride do genetske prerazporeditve virusnih segmentov pri sočasni okužbi z aviarnimi, humanimi in prašičjimi IAV, kar omogoča nastanek novih sevov z možnim pandemičnim potencialom (Cui in sod., 2024).

## PRENOS BOLEZNI IN KLINIČNI ZNAKI

IAV se lahko prenašajo kapljično s kašljanjem ali kihanjem obolelih živali, s tesnim stikom med obolelimi in zdravimi živalmi ter s kontaminirano obleko, obutvijo in opremo (Center for Disease Control and Prevention, 2024a).

Morbidnost je visoka (skoraj 100 %), mortaliteta pa nizka (manj kot 1 %). Bolezen se pri prašičih kaže s povišano telesno temperaturo, manjšim apetitom, apatičnostjo, tahipnejo, kašljem, oteženim abdominalnim dihanjem in dispnejo (Van Reeth in Vincent, 2019). Prašiči imajo lahko nosni in očesni izcedek ter kihajo (Centers for Disease Control and Prevention, 2024a). Pri brejih plemenskih svinjah se pri akutni obliki bolezni lahko pojavijo abortusi, ki so posledica povišane telesne temperature (World Organi-

sation for Animal Health, 2023). Inkubacijska doba traja od 1 do 3 dni. Na splošno živali ozdravijo od 5. do 7. dne po pojavu kliničnih znakov bolezni (Van Reeth in Vincent, 2019). Sezona pojavov bolezni je predvsem pozno jeseni in pozimi (Centers for Disease Control and Prevention, 2024a). Sočasne okužbe z drugimi patogeni, kot so virus prašičjega reproduktivnega in respiratornega sindroma (PRRSV), *Glaesserella parasuis*, *Actinobacillus pleuropneumoniae* in *Mycoplasma hyopneumoniae*, otežijo potek bolezni (MSD Veterinary Manual, 2024).

## NASTANEK NOVIH SEVOV VIRUSA PRAŠIČJE INFLUENCE (PI)

Prenos IAV z ene živalske vrste na drugo lahko poteka na tri načine:

- IAV se lahko direktno prenese z ene vrste živali ali ljudi na prašiče.
- Zaradi postopnega kopičenja mutacij v genih, ki kodirajo površinska proteina HA, NA ali kombinacijo obeh, se lahko virus sčasoma antigenetsko spremeni – to imenujemo antigenetski odmik.
- V primeru hkratne okužbe z dvema genetsko različnima IAV lahko pride do prerazporeditve genetskih segmentov med njima, kar vodi do večjih sprememb v virusu – to imenujemo antigenetski premik (Golinar Oven, 2011).

Virusi influence se genetsko ves čas spreminjajo, antigenetski premik se pojavlja redkeje, antigenetski odmik pa pogosteje (Centers for Disease Control and Prevention, 2024b).

Antigenetski odmik predstavlja postopne in manjše spremembe v genih virusa, ki vplivajo na strukturo površinskih beljakovin HA in NA. Te drobne genske mutacije nastajajo stalno med virusno replikacijo in običajno povzročijo nastanek virusov, ki so si med seboj zelo podobni. To podobnost pogosto vidimo tudi na filogenetskem drevesu, kjer se ti virusi nahajajo blizu skupaj. Lahko se pojavi tudi navzkrižna zaščita – protitelesa, ki nastanejo kot odgovor na en virus in lahko prepoznajo tudi druge sorodne različice virusa. Sčasoma pa se zaradi nabiranja teh mutacij lahko pojavijo virusi, ki se antigenetsko bistveno razlikujejo, kar pomeni, da jih obstoječa protitelesa slabše prepoznajo ali pa se nanje sploh ne vežejo. Včasih je za to dovolj že ena sama mutacija na ključnem delu beljakovine HA, da postane virus antigenetsko manj prepoznaven. Zaradi teh sprememb stare različice cepiv večkrat niso več učinkovite proti novim, antigenetsko spremenjenim

sevom, zato je potrebno cepiva proti influenci redno prilagajati, (Centers for Disease Control and Prevention, 2024b).

Antigenetski premik pomeni nenadno in obsežno genetsko spremembo, pri kateri pride do zamenjave celotnih genov za virusni površinski beljakovini HA, NA ali za obe hkrati. Ta pojav je značilen predvsem za IAV, saj se različni antigenetski tipi IAV pojavljajo pri številnih živalskih vrstah. Posledično nastane nov virusni sev, proti kateremu večina gostiteljev nima razvite zaščitne imunosti. To lahko privede do povečanega širjenja virusa in v nekaterih primerih tudi do izbruha pandemije (Kim in sod., 2018).

Do antigenetskega premika pride zaradi segmentirane zgradbe genoma IAV. Če je gostiteljska celica hkrati okužena z dvema različnima sevoma IAV, se lahko posamezni genetski segmenti premešajo med seboj, kar vodi do nastanka virusa z novo kombinacijo genetskih in antigenetskih lastnosti (Golinar Oven, 2011).

Tudi pri humanih virusih influence tipa B lahko pride do prerazporeditve genetskih segmentov, včasih pa tudi do delecij ali insercij v genomu. Vendar pa do tovrstnih genetskih prerazporeditev med različnimi tipi virusov influence (A, B, C in D) ne prihaja (Kim in sod., 2018).

## PRAŠIČJA INFLUENCA

Prvi izbruh PI pri prašičih je bil dokumentiran že leta 1918 v ZDA, sočasno s pandemijo španske gripe pri ljudeh (Van Reeth in Vincent, 2019). Kasneje so se izbruhi PI pojavljali v letih 1968, 1979, 1994 itd. Po pandemiji leta 2009 se je pandemični virus H1N1pdm09 razširil med evropske prašiče in se tam ustalil kot endemičen sev (Van Reeth in Vincent, 2019).

Virus PI je razširjen po vsem svetu; med letoma 2009 in 2013 so v 14 evropskih državah identificirali 23 različnih genotipov IAV, a le šest genotipov je bilo najpogostejših in so predstavljali skoraj 80 % vseh dokazanih genotipov (Van Reeth in Vincent, 2019). Podtipa H1N1 in H3N2 sta enzootično prisotna v večini evropskih držav. Seroprevalenca je visoka in se giblje med 44 % in 100 %, kar kaže na široko razširjenost teh dveh virusov. Na azijskem kontinentu je bilo leta 2005 do 70 % rej serološko pozitivnih proti virusom PI, medtem ko sta bila v Združenih državah Amerike najpogostejša prav tako podtipa H1N1 in H3N2. Serološke analize so pokazale, da ima 31 % živali protitelesa proti H3N2,

67 % proti H1N1 in 2 % proti H1N2 (Golinar Oven, 2011).

Tudi v Sloveniji sta ta dva podtipa pogosta, kar dokazuje raziskava med leti 2001 in 2006, ko so dokazali visok delež protiteles pri plemenskih svinjah (49,6 %) in pitancih (47 %) (Golinar Oven, 2011). Leta 2023 je bil na farmi prašičev v Sloveniji dokazan tudi sev H1avN2, čeprav prašiči ob odvzemu nosnih brisov niso kazali respiratornih znamenj (Golinar in sod., 2024).

## OKUŽBA LJUDI Z VIRUSI INFLUENCE

Okužbo ljudi z virusi influence imenujemo gripa, bolezen, ki verjetno spremlja človeštvo že stoletja. Nekateri znanstveniki menijo, da se je gripa pri ljudeh pojavila ob začetku udomačevanja živali, kot so prašiči in perutnina. V zgodovini so pan-

demije gripe sodile med najboljše in najbolj smrtonosne izbruhe nalezljivih bolezni. Že grški zdravnik Hipokrat je v 5. stoletju pr. n. št. opisal klinične znake, ki ustrezajo pandemiji gripe, kar nakazuje, da je bolezen znana že iz časa antične Grčije. Od takrat so se pandemije pojavljale na nekaj let ali desetletij (Bruno, 2008).

V zadnjem stoletju so človeštvo prizadele štiri pandemije gripe – leta 1918, 1957, 1968 in 2009 (Centers for Disease Control and Prevention, 2024b). Za tri od teh pandemij (azijska gripa, hongkonška gripa in pandemija H1N1 leta 2009) je bil odgovoren antigenski premik, ki je povzročil pojav novih sevov virusa influence (Ma, 2020).

Pandemija leta 1918, znana kot španska gripa, naj bi nastala zaradi prenosa aviarnega IAV na človeka (Kim in sod., 2018). Še vedno ni dokončno pojasnjeno, ali je prišlo do neposrednega prenosa s ptic ali

je bil vpleten vmesni gostitelj. Pred tem dogodkom ni bilo poročil o izbruhih bolezni pri perutnini. Po ocenah naj bi okužba prizadela med 500 milijoni in 1 milijardo ljudi, kar je predstavljalo približno 30–50 % svetovnega prebivalstva, število smrtnih žrtev pa naj bi doseglo med 40 in 50 milijoni (Bruno, 2008). Leta 1957 je vzhodno Azijo zajela nova pandemija gripe, ki se je hitro razširila po svetu. Umrlo je približno 2 milijona ljudi, a hiter razvoj cepiva in dostopnost antibiotikov za zdravljenje sekundarnih bakterijskih okužb sta pomembno prispevala k zmanjšanju smrtnosti. Domneva se, da je virus H2N2, odgovoren za to pandemijo, nastal s prerazporeditvijo genetskega materiala med človeškim in ptičjim IAV, pri čemer naj bi vlogo igral prašič kot vmesni gostitelj. Predhodno razširjeni podtip H1N1 je po pojavu H2N2 izginil iz populacije (Bruno, 2008).

Pandemija leta 1968, znana kot hongkonška gripa, je imela izvor na Kitajskem in jo je povzročil virus H3N2. Ta sev je nastal z gensko prerazporeditvijo med humanim virusom H2N2 iz leta 1957 in ptičjim IAV, ki je prispeval gene za glikoprotein H3 in polimerazni protein PB1 (Kim in sod., 2018). Ljudje, ki so bili predhodno okuženi z virusom iz leta 1957, so imeli vsaj delno zaščito pred novim virusom, kar je verjetno omejilo obseg bolezni. Umrlo je približno 800.000 ljudi (Bruno, 2008).

Leta 2009 so v ZDA in Mehiki pri ljudeh zaznali nov podtip virusa influence H1N1 (H1N1pdm09), ki se je hitro razširil globalno in najhujše prizadel otroke ter mlade. Po ocenah je ta pandemija povzročila med 123.000 in 203.000 smrti po svetu (Al Hajjar in McIntosh, 2010). Virus je bil genetsko zelo raznolik – vseboval je gene prašičjih severnoameriških in evrazijskih virusov, poleg tega pa tudi gene humanega in ptičjega IAV (Centers for Disease Control and Prevention, 2024b).

Čeprav je bil H1N1pdm09 pogosto imenovan »prašičja gripa«, ni dokazov, da bi prašiči pomembno prispevali k širjenju okužbe med ljudmi. Po začetnem prenosu na človeka pa se je virus razširil nazaj v prašičje populacije po vsem svetu (Van Reeth in Vincent, 2019).

Za razliko od pandemije leta 1918, pri kateri naj bi prišlo do nastanka novega virusa prek direktnega prenosa iz živali, ali pandemij v letih 1957 in 1968, pri katerih je virus nastal z gensko prerazporeditvijo, je pandemični virus H1N1pdm09 najverjetneje nastal kot kombinacija obeh mehanizmov – z združitvijo genov severnoameriških in evrazijskih

prašičjih virusov ter s prenosom najprej na človeka, nato med ljudmi, dokler se ni razširil po svetu (Van Reeth in Vincent, 2019).

## PRAŠIČJA INFLUENZA PRI LJUDEH

Da lahko IAV povzroči pandemijo, mora izpolnjevati tri osnovne pogoje:

- mora biti sposoben okužiti človeka,
- se učinkovito prenašati med ljudmi in
- obiti imunski sistem v humani populaciji.

Okužbe ljudi z virusi PI so sicer redke. Do njih najpogosteje pride pri posameznikih, ki so v tesnem in stalnem stiku z okuženimi prašiči. Bolezenski znaki pri ljudeh so običajno podobni tistim pri sezonski gripi, smrtni primeri pa so redki (World Organisation for Animal Health, 2025).

Prenos virusov PI s človeka na druge ljudi je zelo omejen (Ma, 2020). Se pa IAV iz človeka na prašiča prenašajo pogosteje kot s prašiča na človeka (Van Reeth in Vincent, 2019). Eden od razlogov za to naj bi bil povezan z dejstvom, da velik del populacije prašičev predstavljajo mladi in imunološko manj razviti prašiči, medtem ko so delavci na farmah odrasli in pogosto že vsaj delno imuni na virus influence (Nelson in Vincent, 2015).

Raziskav, ki bi sistematično spremljale prisotnost protiteles proti virusom PI pri ljudeh, je malo, kar nakazuje, da so okužbe morda pogostejše, kot kažejo uradni podatki, vendar ostajajo nezaznavne (Van Reeth in Vincent, 2019). Med letoma 1959 in 2014 je bilo po svetu zabeleženih 396 potrjenih primerov okužb ljudi z virusi PI, v obdobju od 2010 do 2021 pa malo manj kot 700 primerov – večinoma pri mladih osebah ali imunsko oslabljenih posameznikih. Poleg tega so številne študije pri delavcih na farmah in v klavnicah pokazale subklinične okužbe, kjer se je prisotnost protiteles gibala med 15 % in 40 % (Abdelwhab in Mettenleiter, 2023).

## ZAKLJUČEK

PI je endemično prisotna v rejah in kljub nizki smrtnosti pri prašičih rejcem predstavlja ekonomski problem zaradi visoke obolevnosti.

Zaradi možnosti prenosa virusov PI na ljudi in potencialnega razvoja novih pandemičnih sevov vi-



Slika 1: Primerna zaščita ob stiku s prašiči in odvzemu vzorcev (<https://sciencemediacentre.es/en/reactions-lineage-so-called-swine-flu-has-passed-humans-pigs-almost-400-times-2009>)

rusi influence še naprej predstavljajo pomembno grožnjo za javno zdravje (Van Reeth in Vincent, 2019).

#### LITERATURA:

1. Abdelwhab E. M., Mettenleiter T. C. Zoonotic Animal Influenza Virus and Potential Mixing Vessel Hosts. *Viruses* 2023;15(4): 980. doi: 10.3390/v15040980.
2. Al Hajjar S., McIntosh K. The first influenza pandemic of the 21st century. *Ann Saudi Med* 2010;30(1): 1–10. doi: 10.4103/0256-4947.59365
3. Bruno L. *Paleomicrobiology: Past Human Infections*. Berlin: Springer, 2008: 199–211.
4. Centers for Disease Control and Prevention. About Influenza in Swine (Pigs). Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention, 2024. <https://www.cdc.gov/swine-flu/about/influenza-in-swine.html> (20. 4. 2025)
5. Centers for Disease Control and Prevention. How Flu Viruses Can Change: "Drift" and "Shift". Atlanta, Centers for Disease Control and Prevention, 2024. <https://www.cdc.gov/flu/php/viruses/change.html> (21. 8. 2025)

Atlanta, Centers for Disease Control and Prevention, 2024. <https://www.cdc.gov/flu/php/viruses/change.html> (21. 8. 2025)

5. Cui X., Ma J., Pang Z. et al. The evolution, pathogenicity and transmissibility of quadruple reassortant H1N2 swine influenza virus in China: A potential threat to public health. *Virologica Sinica* 2024; 39(2): 205–17. doi:10.1016/j.virs.2024.02.002
6. Golinar Oven I. *Izdelava in uporaba serološkega profila za ukrepe proti nekaterim povzročiteljem respiratornega bolezenskega kompleksa na veliki farmi prašičev*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta, 2011. Doktorska disertacija.
7. Golinar I., Šteferl T., Štukelj M. Swine influenza in Slovenia. In: *Zdravstvena zaščita, selekcija i reprodukcija svinja. Dvadeset prvog simpozijum sa međunarodnim učeščem: zbornik. Srebrno jezero – Veliko Gradište: Ana Vasic, 2024: 60–6.*
8. Kim H., Webster R. G., Webby R. J. Influenza virus: dealing with a drifting and shifting pathogen. *Viral Immunol* 2018;31(2): 174–83. doi: 10.1089/vim.2017.0141
9. Ma W. Swine influenza virus: Current status and challenge. *Virus Res* 2020; 288:198118. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198118>
10. MSD Veterinary Manual. Influenza A virus in swine. St. Paul, MN: MSD Veterinary Manual, 2024. [https://www.msdsvetmanual.com/respiratory-system/respiratory-diseases-of-pigs/influenza-a-virus-in-swine#Clinical-Findings\\_v32945](https://www.msdsvetmanual.com/respiratory-system/respiratory-diseases-of-pigs/influenza-a-virus-in-swine#Clinical-Findings_v32945) (17. 4. 2025).
11. Nelson M. I., Vincent A. L. Reverse zoonosis of influenza to swine: new perspectives on the human–animal interface. *Trends in Microbiology* 2015; 23: 142–53. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.12.002>
12. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service. Swine Influenza. Riverdale, MD: U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, <https://www.aphis.usda.gov/livestock-poultry-disease/swine/influenza-a-virus> (5. 4. 2025)
13. World organisation for animal health. Influenza A viruses of swine. In: *Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*. Paris: WOAH, 2023. [https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health\\_standards/tahm/3.09.03\\_INF\\_A\\_SWINE.pdf](https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.09.03_INF_A_SWINE.pdf) (10. 4. 2025)
14. World organisation for animal health. Swine influenza. Paris: World organisation for animal health, <https://www.woah.org/en/disease/swine-influenza/> (26. 3. 2025)
15. Van Reeth K., Vincent A. L. Influenza Viruses. In: Zimmerman JJ, eds. *Diseases of Swine*. 11th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2019: 576–93.

Fotografija: Anja Rebec



# ANESTEZIOLOGIJA EKSOČNIH ŽIVALI

Avtorice: Rebecca Plestenjak, Eva Pohleven, študentki Veterinarske fakultete, prof. dr. Valentina Kubale, Inštitut za predklinične vede, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## IZVLEČEK

Anestezija plazilcev, malih sesalcev in ptic zahteva posebne pristope zaradi specialnih anatomskih in fizioloških karakteristik eksotičnih živalskih vrst. Ustrezna predoperativna ocena zdravstvenega stanja, natančen monitoring med posegi in podrobna postoperativna oskrba so bistveni za uspešno izvedeno anestezijo. Pri plazilcih in pticah je potrebno upoštevati renalni portalni obtok, pri malih sesalcih in pticah pospešen metabolizem, pri plazilcih upočasnjen metabolizem, pri vseh eksotičnih (in ljubiteljskih) vrstah živali pa pogost pojav hipotermije, saj vsi naštetih dejavniki vplivajo na anestezijo.

Ključne besede: anestezija; plazilci; glodavci; ptice; pogoste komplikacije.

## OSNOVNA NAČELA ANESTEZIJE

Splošna anestezija je proces, pri katerem z zdravili povzročimo reverzibilno izgubo zavesti in občutkov. Pri tem so refleksi odzivi organizma na dražljaje zmanjšani ali popolnoma odpravljeni. Splošna anestezija je sestavljena iz štirih delov: hipnoze (izgube zavesti), analgezije (neobčutljivosti na bolečino), mišične relaksacije in izgube avtonomnih refleksov (grlni, žrelni, kašelj ipd.). Za doseg splošne anestezije lahko uporabljamo dve vrsti farmakoloških pripravkov: hlapne anestetike (npr. izofluran, halotan) ali intravenska sredstva (npr. propofol, ketamin). Izofluran je najpogostejši inhalacijski anestetik za eksotične živali.

Anestezijo lahko razčlenimo na več korakov: predoperacijska priprava, premedikacija, sedacija in analgezija, uvod v anestezijo, vzdrževanje anestezije in prebujanje iz anestezije. Predoperacijska priprava vključuje anamnezo, klinični pregled in krvne teste. Namen premedikacije je pomiriti žival, ublaži-

ti bolečino pred, med in po operativnem posegu, zmanjšati količino sredstva za uvod v anestezijo in sredstva za vzdrževanje splošne anestezije ter zmanjšati učinke parasimpatikusa (povečano slinjenje, bronhialna sekrecija sluzi, bradikardija itd.) in druge neželene učinke splošne anestezije (npr. bruhanje). Za premedikacijo se najpogosteje uporablja različne kombinacije sedativov, analgetikov in holinolitikov (zavirajo delovanje parasimpatikusa). Sedativi omogočajo mirnejši uvod v anestezijo in mirnejše prebujanje, zmanjšajo pa tudi količino anestetikov, potrebnih za izgubo zavesti. Analgetiki se uporabljajo za zmanjševanje akutne in kronične bolečine, zmanjšajo pa tudi količino i/v ali inhalacijskega anestetika. Uvod v anestezijo pomeni vzpostavitev kratkotrajne anestezije z i/m ali i/v aplikacijo anestetikov. Pri mladih psih in mačkah, manjših sesalcih, pticah, plazilcih in drugih eksotih se uvodno anestezijo običajno izvede kar z inhalacijskimi anestetiki. Anestezijo lahko vzdržujemo s popolno intravensko anestezijo, z inhalacijskimi anestetiki preko inhalacijskega anestezijskega aparata ali pa s kombinacijo obeh, npr. uporabljamo inhalacijske anestetike, če pa se žival začne prebujati, titriramo i/v anestetik (pogosto pri plazilcih).

## ANESTEZIOLOGIJA PLAZILCEV (KAČE, KUŠČARJI, ŽELVE)

### Anatomske in fiziološke posebnosti plazilcev, ki vplivajo na anestezijo

**Perfuzija tkiv:** Srce ima 3 votline (dva atrija in en ventrikel), kar omogoča mešanje oksigenirane in deoksigenirane krvi. To vodi v slabšo perfuzijo tkiv, kar moramo upoštevati pri anesteziji. Plazilci so ekotermne živali, kar pomeni, da je njihova telesna temperatura odvisna od temperature okolice. Nižja telesna temperatura pri plazilcu med anestezijo pomeni počasnejši metabolizem in ekskrecijo

farmakoloških pripravkov, kot so anestetiki, vpliva pa tudi na fiziološke parametre (bradikardija, bradipneja ipd.). Renalni portalni sistem, ki je prisoten pri plazilcih in pticah, selektivno vodi kri skozi ledvice ali jih obide. Rezultat je predsistemska presnova anestetika, ki je apliciran v kavdalni polovici telesa (npr. v stegensko miškulaturo), kar lahko modificira ali izniči efekt farmakološkega sredstva.

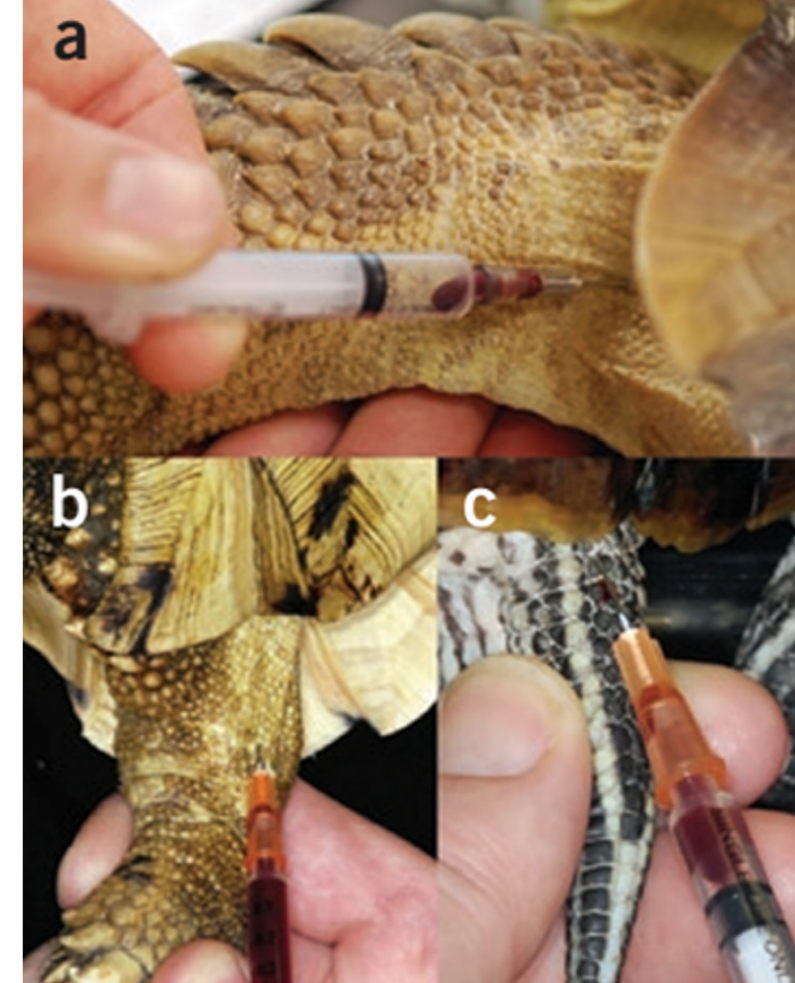
**Respiratorni sistem:** Pred operacijskim posegom plazilca je zelo pomembno preučiti anatomske posebnosti respiratornega sistema plazilca, saj obstajajo izredno pomembne medvrstne razlike. Veliko plazilcev npr. nima diafragme, ampak so za dihanje pomembne pektoralne, abdominalne in medenične mišice. Večina kač ima dolgo desno pljučno krilo, levo pa je rudimentarno. Udavi in pitoni pa imajo dobro razvit levi in desni del pljuč. Sapnik pri želvah je kratek in se razcepi na sapnici zelo kranialno, na kar moramo biti pozorni pri intubaciji. Nekateri plazilci in ptice imajo tudi popolnoma kontinuirane hrustančne obročke v steni sapnika, kar pomeni, da lahko povzročimo travmo, če preveč napihnemo balonček na tubusu. Pri kačah moramo lastnike opozoriti tudi na to, da naj ne dobijo hrane vsaj teden ali dva, saj lahko velik obrok preprečuje normalno ventilacijo.

### Predoperacijska priprava in premedikacija

Pred vsako anestezijo je potrebno opraviti osnovni klinični pregled. Izmerjene vrednosti frekvence srca in dihanja ter telesne temperature in mase nam bodo služile kot referenčne vrednosti med posegom. Pri plazilcih je zaradi počasnejšega metabolizma ekskrecija zdravil iz organizma mnogo daljša kot pri endotermnih živalih, kar pomeni, da moramo za premedikacijo vedno izbrati reverzibilna sredstva. Upoštevati moramo tudi odsotnost ali zmanjšano število določenih receptorjev pri različnih vrstah plazilcev, saj npr. morfij ne bo imel analgetičnega učinka pri živalski vrst brez opioidnih receptorjev. I/m sredstva je treba vedno aplicirati v kranialni del telesa, če se le da, da se izognemo renalnemu portalnemu sistemu.

### Indukcija

Plazilci so običajno inducirani s hlapnimi anestetiki preko maske ali v plastični posodi. Ko so pacienti popolnoma sproščeni, jih lahko intubiramo. Spet je treba paziti na vrstne razlike v zgradbi žrela in grla, tubus pa se običajno fiksira s trakom na spodnjo čeljust. Pri želvah moramo biti pozorni, da ne dosežemo endobronhialne intubacije. I/v dostop



Slika 1: Odvzem krvi pri kopenskih želvah iz v. brachialis sprednje leve okončine (a), v. femoralis leve zadnje okončine (b) ter v. coccygea dorsalis (c) (povzeto po (7)).

pri plazilcih težko zagotovimo, zato se bolj pogosto kot intravenske anestetike, uporablja hlapne. Vseeno pa obstajajo primerne vene, kot so v. jugularis, v. coccygea in venozni sinus pod karapaksom pri želvah (slika 1).

### Vzdrževanje anestezije in monitoring

Splošno anestezijo se večinoma vzdržuje z inhalacijskimi anestetiki. Ker so reptili ekotermni, je obvezno, da pacienta med posegom grejemo in nadzorujemo telesno temperaturo. Za monitoring srca lahko uporabljamo Doppler ali ezofagealni stetoskop, frekvenco dihanja pa spremljamo vizualno z opazovanjem premikanja stene prsnega koša in trebušne votline. Priporočena je asistirana ventilacija (1–4 vdihov na minuto) zaradi daljših obdobj apneje. Kapnografija ni primerna za spremljanje ventilacije, saj je pri plazilcih pogost intrapulmonarni obvod (angl. *intrapulmonary shunt*), ki povzroči, da je izmenjava plinov med pljuči in krvjo zmanjšana. Ker se pri plazilcih v glavnem uporablja hlapne anestetike, to lahko povzroči nenadno prebujanje iz anestezije, kar lahko preprečimo z i/v titracijo anestetika. Tudi pulzni oksimetri pri plazilcih niso uporabni zaradi drugačne zgradbe hemoglobina

in težav pri namestitvi oksimetra. Mišična relaksacija je prvi znak učinkovanja anestezije pri uvodu v anestezijo. Miorelaksacijo bomo pri kačah najprej opazili na glavi in se bo nadaljevala kavdalno do repa. Popuščanje bo potekalo v obratnem vrstnem redu (kavdo-kranialno).

### Prebujanje iz anestezije

Kače se načeloma prebujajo veliko dlje od kuščarjev. Želve, še posebno želve, ki lahko zadržijo dihanje dolgo časa, pa se prebujajo najdlje (tudi 4 ure). Med prebujanjem moramo zagotoviti ustrezno telesno temperaturo živali z grelnimi blazinami in opazovati njeno dihanje. Običajno je potrebno asistiranje predihavanje na okoliškem zraku. Ekstubiramo pacienta, ko ta samostojno diha in so se mu povrnila vsi refleksi.

### ANESTEZIOLOGIJA MALIH SESALCEV (BELI DIHURJI, JEŽI, KUNCI, GLODAVCI)

Vsem malim sesalcem je skupno, da je zaradi njihove majhnosti vstavljanje venskih katetrov, intubiranje in aplikacija zdravil zahtevnejša v primerjavi s psi in mačkami. Prav tako imajo zelo hiter metabolizem, kar moramo upoštevati pri hitrosti metabolizma in ekskrecije zdravil.

Rokovanje poskušamo reducirati na minimum, saj so to živali, ki načeloma ne marajo nošenja in dvigovanja. Pri rokovanju moramo biti nežni, vendar jih moramo dobro in pravilno fiksirati, da se ne poškodujejo.

Tako kot pri ostalih živalih moramo med posegom tudi pri malih sesalcih spremljati bitje srca in dihanje. Natančno moramo spremljati telesno temperaturo, saj lahko hitro pride do hipotermije. EKG lahko uporabljamo, ampak mora biti kalibriran na visok srčni utrip. Pri kuncih in dihurjih si lahko pomagamo tudi s pulznim oksimetrom.

#### Beli dihurji

Pri belih dihurjih se pred posegom priporoča, da se jih posti, saj lahko pride do regurgitacije. Ta čas pa ne sme biti daljši od 4 ur, da zmanjšamo možnost hipoglikemije. Premedikacijo načeloma opravimo s sedativi, analgetiki in antiholinergičnimi sredstvi (holinolitiki). To zmanjša količino zdravil, potrebnih za indukcijo in vzdrževanje splošne anestezije, antiholinergična sredstva pa zmanjšajo produkcijo

respiratornih sekretov, ki je pri belih dihurjih med anestezijo običajno zelo obsežna. Indukcija običajno poteka z masko in inhalacijskimi anestetiki, ko pa so živali dovolj globoko v anesteziji, vstavimo kateter v veno (najpogosteje v *v. cephalico*). Intubacija je zelo podobna kot pri mačkah. Uporabi se tudi sprej lidokaina (lokalni anestetik), kar prepreči laringealne spazme. Za vzdrževanje se lahko uporabi inhalacijsko anestezijo, mogoča pa je tudi popolna intravenska anestezija.

Pogosti komplikaciji sta hipotermija in hipoglikemija. Hipotermijo preprečimo z grelnimi blazinami, hipoglikemijo (zaradi izjemno hitrega metabolizma) pa z dodatkom 2,5 odstotka dekstroze v vzdrževalno tekočinsko terapijo med anestezijo. Po končanem posegu začnemo z dohranjevanjem takoj, ko lahko požirajo.

#### Ježi

Prestrašeni ježi se običajno zvijejo v kroglo, vendar jih lahko pripravimo, da se sprostijo, če jih nežno božamo po bodicah na sakralnem področju. Najpogosteje ježe uvedemo v splošno anestezijo brez premedikacije. Takoj jih postavimo v plastično posodo, kamor dovajamo hlapne anestetike. Ko postanejo dovolj sproščeni, jih prestavimo na obrazno masko, saj so premajhni za intubacijo. Vzdrževanje anestezije poteka s hlapnimi anestetiki, vendar lahko uporabimo tudi *v. jugularis*, *v. safeno* ali intraosalne katetre (proksimalni del stegenice) za dovod i/v anestetikov.

Pogosti komplikaciji sta hipotermija in hipoglikemija, ki ju preprečujemo na enak način kot pri belih dihurjih.

#### Kunci

Kuncev pred posegom nikoli ne puščamo brez hrane, saj ne bruhamo in ne regurgitirajo. Zaradi njihovega prebavnega sistema se že na splošno svetuje, da imajo hrano (seno) ves čas na voljo. Dihajo lahko samo skozi nosnici in ne skozi usta. To moramo upoštevati pri namestitvi obrazne maske. Kunci imajo zelo močne zadnje noge in si lahko zlomijo ali dislocirajo lastno hrbtenico ob nepravilni fiksaciji. So izredno dobri pri skrivanju bolečine, zato vedno preventivno apliciramo analgetike, tudi če ne opazimo nobenih kliničnih znakov bolečine. Premedikacija je pogosta in se aplicira i/m ali s/c. Indukcijo izvedemo v plastični posodi in kunca nato premaknemo na masko. Kunce lahko tudi intubiramo, vendar je to zelo zahtevno in se zato običa-



Slika 2: *V. auricularis marginalis* pri kuncu z vstavljenim kanilo (povzeto po (5))

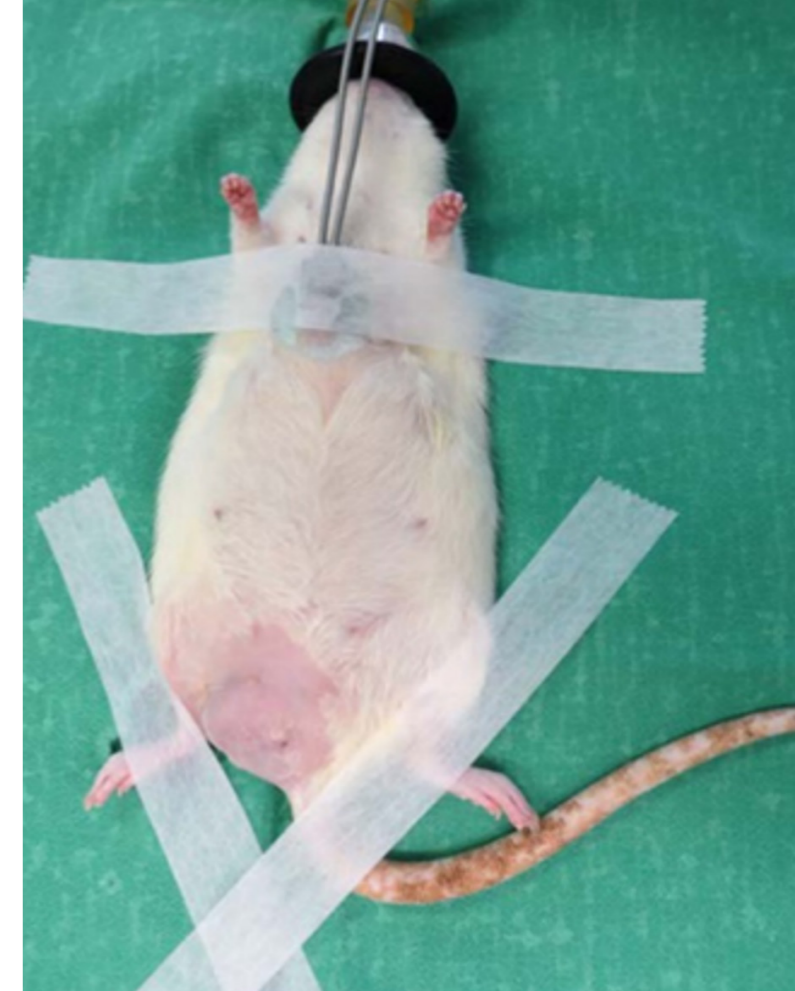
jno uporablja samo maska. Ko so v anesteziji lahko vstavimo kateter v *v. cephalico*, *v. safeno* ali *a. auricularis*, kar pa ni priporočeno (slika 2). Kateter lahko vstavimo tudi i/o. Anestezijo lahko vzdržujemo inhalacijsko ali intravensko. Pri nameščanju kuncev v dorzalni položaj je potrebno podložiti prsni koš, vrat in glavo. Tako zmanjšamo pritisk trebušnih organov na diafragmo, ki bi lahko vodil v oteženo dihanje.

Po končani operaciji prav tako začnemo z dohranjevanjem. Če žival ne začne jesti sama, jo začnemo hraniti po brizgi. Za kunce je to pomembno zaradi njihovega prebavnega sistema. Uporabimo posebno mešanico za dohranjevanje, ki jo zmešamo z vodo.

Pogoste komplikacije so kornealni ulkusi, kar preprečimo s kapljicami ali mazili za oči, lahko pa tudi zalepimo veke, da zrkla ostanejo navlažena. Pogosti so tudi iatrogeni zlomi hrbtenice ob nepravilni ali premočni fiksaciji nesediranih kuncev. Pojavi se lahko tudi hipertermija zaradi stresa ob fiksaciji ter hipotermija med anestezijo.

#### Glodavci (morski prašički, hrčki, činčile, miši, podgane)

Glodavcev pred posegom ne postimo, hrano naj imajo ves čas na voljo. Večina jih lahko diha samo skozi nosnici in ne skozi usta. Hrčki imajo lične vrečke, ki jih moramo izprazniti, saj lahko aspirirajo hrano med anestezijo. Prav tako pregledamo ustno votlino ostalih živali. Dovzetni so tudi k avtomutilaciji, zato se je potrebno izogibati i/m aplikaciji dražečih zdravil in zdravil v velikih volumnih. Pri glodavcih se pogosto pojavi prekomerno slinjenje in nevarnost aspiracije. Zato je priporočljivo, da jim kot del premedikacije apliciramo antiholinergična sredstva. Pogosto izvedemo premedikacijo z i/m ali s/c aplikacijo. Indukcijo izvedemo v zaprtih plastičnih posodah, od koder jih nato premaknemo na masko. Glodavcev načeloma ne intubiramo (slika



Slika 3: Podgana v splošni anesteziji med pripravo na kirurški poseg (povzeto po (5))

3). Lahko vstavimo kateter v *v. cephalico*, *v. safeno* ali i/o, anestezijo pa lahko vzdržujemo tudi inhalacijsko. Morske prašičke moramo tako kot kunce podložiti, da zmanjšamo pritisk na diafragmo in omogočimo lažje dihanje. Kot pri ostalih malih sesalcih dohranjujemo takoj, ko so zmožni požiranja.

Pogosti komplikaciji sta hipotermija in hipoglikemija, ki ju preprečimo enako kot pri belih dihurjih.

### ANESTEZIOLOGIJA PTIC

#### Anatomske in fiziološke posebnosti ptic, ki vplivajo na anestezijo

**Respiratorni sistem:** Pljuča ptic niso prožna, izmenjava plinov pa poteka s pomočjo zračnih vrečk, kar je pomembno pri izbiri položaja med anestezijo. Najbolje je, da jih namestimo v sternalni položaj, saj tako najlažje poteka izmenjava plinov. Prednost zračnih vrečk je enosmerni pretok, tako ne pride do mešanja zraka in se pri inhalacijski anesteziji hitreje odzivajo na spremembe. Za popolno izmenjavo plinov sta potrebna dva dihalna cikla (dva vdihava in dva izdihava). Pomembna posebnost so popolni hrustančni trahealni obročki brez prekinitve, zato

moramo biti še bolj pozorni pri izbiri tubusa, saj lahko hitro pride do poškodb, kar lahko kasneje privede tudi do dispneje. Inspirij in ekspirij sta aktivna, kar pomeni, da sodelujejo cervikalne, torakalne in abdominalne mišice. Diafragme in epiglotisa nimajo.

**Metabolizem:** Načeloma je dobro, da so ptice tešče (manj kot 3 ure), saj lahko pride do regurgitacije. Vendar moramo biti pozorni predvsem pri manjših vrstah z visokim metabolizmom, saj lahko hitro pride do hipoglikemije. Vzdrževalna tekočinska terapija mora vsebovati dovolj glukoze.

**Obtočila:** Ptice imajo renalni portalni obtok, ki selektivno vodi kri skozi ledvice ali jih obide. Rezultat je predsistemska presnova anestetika, ki je apliciran v kavdalni polovici telesa (npr. v stegensko muskulaturo), kar lahko modificira ali izniči efekt anestetika.

### Predoperacijska priprava in premedikacija

Raziskave so pokazale, da je do največ poginov med anestezijo prišlo zaradi slabega zdravja pacien-

tov, zato je pred začetkom nujen osnovni klinični pregled in pregled krvi. Stres med fiksacijo lahko zmanjšamo tako, da pacientu z roko ali brisačo pokrijemo oči. H kliničnemu pregledu sodi tudi avskultacija zračnih vrečk na dorzalni in ventralni strani. Pticom se načeloma antiholinergičnih sredstev ne aplicira, saj ti povzročijo zgostitev respiratornih izločkov, ki lahko blokirajo lumen tubusa. I/m apliciramo zdravila vedno pektoralno zaradi renalnega portalnega obtoka.

### Indukcija

Pred indukcijo je obvezna preoksigenacija. Za indukcijo se uporabi maska in hlapni anestetiki. Pri zelo majhnih vrstah lahko masko naredimo tudi iz sterilne brizge in rokavice za enkratno uporabo, s katero zagotovimo nepredušnost. Frekvenco srca in dihanja moramo med indukcijo strogo spremljati, saj je anestezija hitro pregloboka, kar rezultira v hipoventilaciji in bradikardiji. Načeloma lahko uporabimo tudi i/v anestetike. Vene, ki so primerne: *v. brachialis*, *v. metatarsalis media* ter *v. jugularis*. Kateter lahko vstavimo tudi i/o v proksimalni del ulne ali kranialni del tibiotarzus. Ostale kosti so pnevmatizirane (slika 4).



Slika 4: Moluški kakadu v splošni anesteziji, v lateralnem položaju, s tubusom v levi kavdalni zračni vrečki (povzeto po (6))

### Vzdrževanje anestezije, monitoring in prebujanje iz anestezije

Lahko uporabimo inhalacijske anestetike ali popolno intravensko anestezijo. Monitoring srca lahko izvajamo z Dopplerjem, saj EKG navadno zazna pulz samo do 250 bpm, poleg tega pa so elektrode neprimerne zaradi tanke kože ptic. Uporabi se lahko tudi ezofagealni stetoskop. Med anestezijo se ptice lahko oglašajo zaradi kavdalnega položaja sirinksa (vokalnega organa ptic). Apneja, daljša od 10–20 sekund, zahteva umetno predihavanje (1–2 vdih). Pulzni oksimetri pri pticah niso uporabni, saj imajo drugačno zgradbo hemoglobina. Pri prebujanju najprej opazimo premike nog in kril, kasneje pa opazimo vrnitev mišičnega tona čeljusti. Ko se to zgodi, lahko tubus odstranimo. Po ekstubaciji je priporočena suplementarna oksigenacija.

### Pogoste komplikacije

Pogosto pride do hipotermije zaradi velike telesne površine in manjše telesne mase. To lahko preprečimo z grelnimi blazinami. Obstrukcije endotrahealnega tubusa z gostimi izločki respiratornega sistema so izredno pogoste. Če ne moremo brez težav izvesti mehanskega vdihavanja, moramo takoj zamenjati tubus. Hipoventilacija je tudi pogosta pri pticah med anestezijo, zato je pogosto potrebno umetno predihavanje.

### LITERATURA

1. Shelby A. M., Carolyn M., McKune M.: Small animal anesthesia techniques. Wiley Blackwell, 2014.
2. Butinar J., Vintar N., Frantar B., Podgornik D., Seliškar A. Osnove anestezije malih živali. Veterinarska fakulteta Univerze v Ljubljani, 1997.
3. Lyon L.. Anesthesia for exotic species. <https://www.westernu.edu/mediafiles/veterinary/vet-anesthesia-analgesia/anesthesia-exotic-species.pdf> (6. 10. 2025)
4. Hollwarth A., Vickery S.. Small mammal anaesthesia nursing. The Veterinary Nurse; april 2020.
5. Kubale V. Skrb za zdravje eksotičnih živali v sožitju s človekom: informativni priročnik za lastnike živali in študijsko gradivo za študente veterinarstva. 1. izd. Ljubljana: Veterinarska fakulteta Univerze v Ljubljani, 2018
6. Degernes L. Anesthesia for companion birds. North Carolina State University. <https://vetfolio-vetstreet.s3.amazonaws.com/>

mmah/a8/03a95cf03649469896449b9dc83a6b/fileAnesthesia\_WE.pdf (6. 10. 2025)

7. Mans C. Venipuncture techniques in cheilonian species. University of Wisconsin-Madison. [https://www.researchgate.net/publication/5288592\\_Venipuncture\\_techniques\\_in\\_cheilonian\\_species](https://www.researchgate.net/publication/5288592_Venipuncture_techniques_in_cheilonian_species) (6. 10. 2025)

Fotografija: Eva Pohleven



# AKSOLOTL (*Ambystoma mexicanum*): ANATOMIJA, REGENERACIJA IN VPLIV ŠČITNIČNIH HORMONOV NA METAMORFOZO

Avtorice: Rebeka Rotar, Ana Šmalc, študentki Veterinarske fakultete, prof. dr. Valentina Kubale, Inštitut za predklinične vede, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## IZVLEČEK

Aksolotl (*Ambystoma mexicanum*) je pedomorfičen salamander, ki spada med dvoživke. V naravi ga najdemo predvsem v jezerih v Mehiki, zaradi degradacije okolja pa je njihova populacija kritično ogrožena. Aksolotli dosežejo dolžino do 30 cm in živijo od 6 do 15 let. Njihovo telo je cilindrične oblike s kratkimi nogami, samci se od samic ločijo po širši kloaki in daljšem repu. Imajo zunanje škrge, ki omogočajo dihanje v vodi, hkrati pa se poslužujejo še bukalnega črpanja zraka. So nočne, karnivorne živali, ki se prehranjujejo s črvi, deževniki in majhnimi ribicami. Za njih je značilna neotenija, ki je posledica pomanjkanja ščitnično spodbujajočega hormona (TSH), kar preprečuje metamorfozo iz ličinke v odraslo žival. Metamorfozo je možno inducirati z aplikacijo ščitničnih hormonov, vendar to pogosto povzroči skrajšanje življenjske dobe in zmanjšano sposobnost regeneracije. Znani so po svoji izjemni sposobnosti regeneracije tkiv, vključno z okončinami, hrbtenjačo, srcem in celo deli oči. V ujetništvu so priljubljeni hišni ljubljenci. Potrebujemo prostoren akvarij s hladno in čisto vodo, bogato s kisikom. Obstajajo različni barvni morfi aksolotlov, ki so rezultat selektivne vzreje. Njihova edinstvena biologija, sposobnost regeneracije in posebnosti neotenije zbujejo zanimanje tako za znanstvene raziskave kot za ljubitelje eksotičnih vrst.

Ključne besede: aksolotl; dvoživka; salamandri;

metamorfoza; neotenija; regeneracija; blastem; ščitnični hormoni.

## OSNOVNE ZNAČILNOSTI

Aksolotl (*Ambystoma mexicanum*), znan tudi kot mehiška hodeča riba, je dvoživka, ki spada v družino Ambystomatidae. Uvrščamo ga v pedomorfične salamandre, kar pomeni, da doseže spolno zrelost, medtem ko ohranja juvenilne zunanje znake.

Za razliko od drugih salamandrov aksolotli nikoli ne preidejo do faze metamorfoze (preobrazbe) in zato ostanejo v fazi larve, kar imenujemo neotenija. V naravi odrasli osebki naseljujejo predvsem skalnate predele gorskih jezer Xochilmilco in Chalco v Mehiki, vendar je zaradi obsežne degradacije njihovo okolje omejeno le na nekaj vodnih kanalov. Zaradi omejenega habitata in prisotnosti tujerodnih invazivnih vrst je aksolotl od leta 2020 na rdečem seznamu IUCN (angl. *Union for Conservation of Nature and Natural Resources*) kot kritično ogrožena vrsta, saj število osebkov v divjini ocenjujejo le na 50 do 1000 odraslih osebkov (1).

Aksolotl lahko zraste do 30 centimetrov in ima življenjsko dobo od 6 do 15 let. V ujetništvu obstajajo tako sivi, kot tudi značilno rožnati aksolotli, pri čemer so slednji vzrejeni izključno za ujetništvo. So karnivori, njihova prehrana pa v naravi obsega črve, deževnike, rakce, majhne ribice ali druge or-

ganizme, ki jih najdejo v svojem okolju. So nočne živali, ki se izogibajo svetlobi. Zaradi slabega vida se zanašajo na voh in lateralne senzorične organe, ki so razporejeni na straneh glave in trupa (4).

Te nenavadne dvoživke spolno dozori pri 18 mesecih. Samec pritegne samico s tako imenovanim paritvenim plesom, po katerem samica sprejme samčev kapsulo sperme. Samica izleže med 100 in 1000 jajčec, ki jih pritrudi na vodno vegetacijo. Ob ugodnih temperaturnih pogojih, okoli 24 °C, se jajčeca izležejo v približno 14 dneh. Novo izležene larve se prehranjujejo z raznoliko hrano, omejitev predstavlja le velikost delcev v hrani (4).

## ANATOMSKE ZNAČILNOSTI AKSOLOTLA

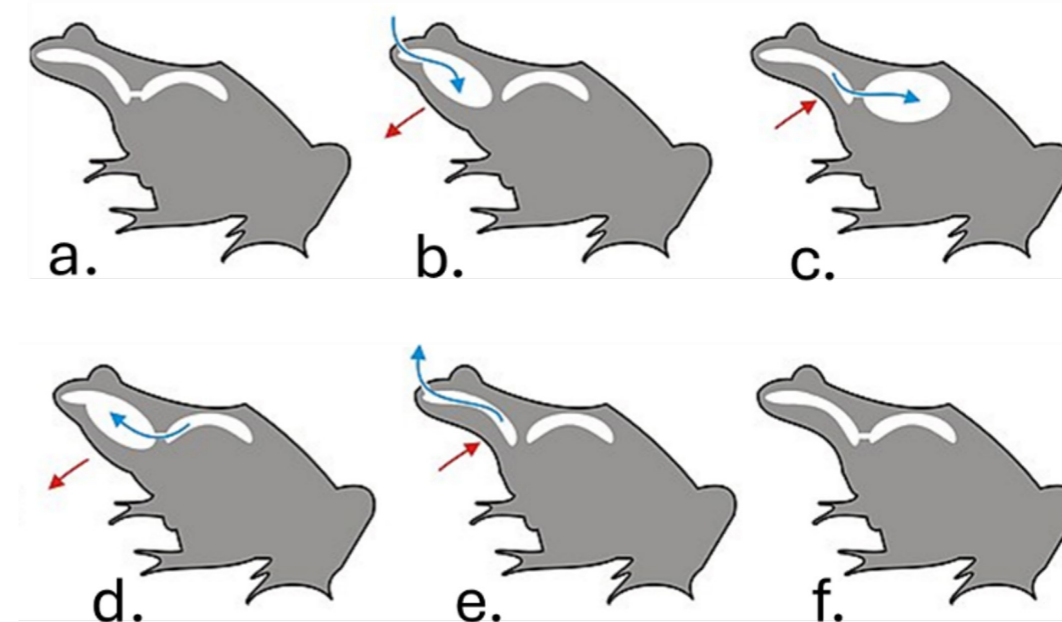
Anatomsko je aksolotl izjemno zanimiva dvoživka, predvsem zaradi pojava neotenije – sposobnosti, da v odrasli dobi ohrani svoje juvenilne značilnosti. Do neotenije pride zaradi pomanjkanja ščitnično spodbujajočega hormona (TSH), ki spodbuja nastanek hormona tiroksina v folikularnih celicah ščitnice. Ta prilagoditev aksolotlu omogoča preživetje v vodnih okoljih z omejenimi viri hrane in nizko koncentracijo joda.

Njihovo telo sestavljajo glava, cilindrično oblikovan trup s štirimi nogami, hrbtne plavut in dolg rep.

Zanje je značilna bilateralna simetrija, kar pomeni, da je leva in desna stran telesa zrcalno skladna. Posebnost aksolotla so zunanje škrge, nameščene na zadnjem delu glave, ki omogočajo učinkovito premikanje oksigenirane vode. Te škrge, prisotne tudi pri odraslih osebkih, so ena od ključnih značilnosti, ki jih ločujejo od drugih dvoživk, kot so salamandri. Trije pari zunanjih škržnih vej so obloženi z nitkami, imenovanimi fimbrije, ki povečujejo površino za absorpcijo kisika. Poleg zunanjih škrig imajo aksolotli še štiri notranje škrge, skrite pod škržnimi režami, ki jih ščitijo pred večjimi delci med filtriranjem vode. Čeprav aksolotli večinoma diha s škrigami, lahko diha tudi s t. i. bukalnim črpanjem – procesom, pri katerem požirajo zrak iz površja vode. Ta proces poteka v dveh fazah: dvotaktno črpanje potisne zrak iz ust v pljuča, štiritaktno pa omogoča vračanje zraka s pomočjo kompresijskih sil (slika 1).

Aksolotl ima majhne oči brez vek in značilna široka usta, ki jim zaradi privzdignjenih koticov pogosto pripisujejo skrivnosten »nasmeh Mone Lise«. Njihovi zobje so v fazi metamorfoze komaj opazni, zato se primarno hranijo s sesanjem plena.

Aksolotl ima štiri kratke, slabo razvite noge s plavalnimi stopali. Na sprednjih nogah imajo štiri prste, medtem ko jih imajo na zadnjih nogah pet. Razlike med spoloma so opazne predvsem v obliki telesa – samce prepoznamo po ožji glavi, daljšem repu ter



Slika 1: Prikaz bukalnega črpanja na primeru brezrepe dvoživke (povzeto po (2)): a. faza mirovanja; b. odprejo se nosnice, ustna votlina se razširi; c. nosnice se zaprejo, ustna votlina se skrči, poklopec se odpre, pljuča se napihnejo; d. ustna votlina se razširi, pljuča se skrčijo; e. nosnice se odprejo, poklopec se zapre, ustna votlina se skrči; f. nosnice se zaprejo, mirovanje.



Slika 2: Barve aksolotlov v ujetništvu (povzeto po (3))

večji kloaki, obdani s papilami. Samice imajo bolj zaobljeno in napihnjeno telo ter manjšo kloako. Poleg tega samice praviloma ne dosežejo velikosti samcev.

Aksolotli v naravi so običajno sive barve, pogosto z olivno zelenim pridihom ali posejani z zlatimi pikami različnih velikosti in oblik. Svetleše barvne različice so pogostejše pri osebkih v ujetništvu, kjer rejci skrbno izbirajo posameznike za križanje z zelenimi barvnimi lastnostmi. Genski zapis aksolotla vključuje štiri osnovne pigmentne gene, ki pa lahko zaradi mutacij ustvarijo širok spekter barvnih različic. Med najpogostejšimi so levisticična obarvanost (aksolotli z značilno svetlo roza kožo in črnimi očmi), ksantinska obarvanost (osebki imajo sivo kožo in sive oči), albinizem (zaradi odsotnosti pigmenta je koža rožnate barve, oči pa so rdeče) ter melanoidna obarvanost (telo je temno modro ali črno, brez značilnih pik ali olivno zelenih odtenkov). Različne barvne odtenke prikazuje slika 2. Poleg barvnih razlik obstaja med osebki tudi precejšnja variabilnost v velikosti ali gostoti zlatih pik po telesu. Zaradi pogostega križanja različnih barvnih različic se pri osebkih v ujetništvu pogosto pojavljajo dvojni homozigotni mutanti.

Čeprav imajo omejeno sposobnost prilagajanja barve okolju, lahko obliko kamuflaže spreminjajo z velikostjo in gostoto svojih melanoforjev – specializiranih pigmentnih celic, ki z zgoščevanjem ali razprševanjem pigmentnih granul prilagajajo intenzivnost obarvanosti.

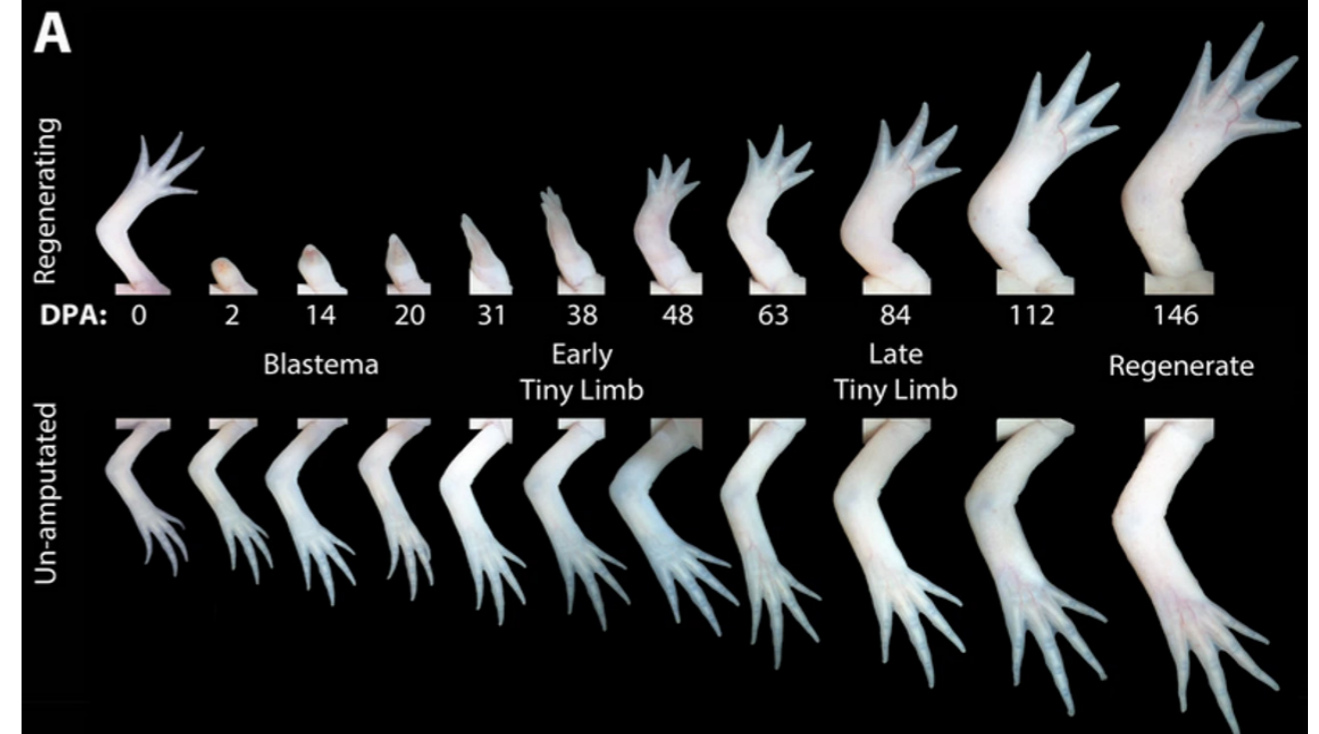
## REGENERACIJA

Aksolotli so v zadnjih desetletjih pritegnili veliko pozornosti znanstvenikov in raziskovalcev prav zaradi svoje izjemne sposobnosti regeneracije (1).

Znani so po tem, da lahko obnovljajo različna tkiva, vključno s celotnimi okončinami ali delom okončin, škrgami, srcem, hrbtenjačo ter celo deli možganov in oči. Ena izmed ključnih lastnosti njihove regeneracije je, da poškodovana tkiva ne tvorijo brazgotin, kar predstavlja izjemen potencial za uporabo v humani medicini. Raziskovalci si prizadevajo razumeti mehanizme tega procesa in jih prenesti v zdravljenje poškodb pri ljudeh in drugih vretenčarjih. Sposobnost regeneracije pri aksolotlih s starostjo sicer upada, vendar nikoli popolnoma ne izgine. Njihovo srce se pogosto uporablja kot model za preučevanje človeškega srčnega prekata (1).

Na mestu poškodbe se pri aksolotlu sproži proces regeneracije z oblikovanjem posebne skupine matičnih celic, imenovane blastem. Blastem je ključni element v procesu obnavljanja, saj celice znotraj njega rastejo, se diferencirajo in tvorijo manjkajoče strukture. Ta proces je mogoč, ker telesne celice aksolotla ohranijo embrionalne značilnosti, kar jim omogoča, da se ponovno razvijejo v različne vrste tkiv. Za uspešno tvorbo blastema so ključni dejavniki, kot sta ustrezna oskrba z živci ter prisotnost epiteljskih celic in celic vezivnega tkiva, ki določajo položajne identitete regeneriranih struktur. Celice blastema med seboj komunicirajo in skrbijo za pravilno povezovanje ter prostorsko ureditev, kar zagotavlja, da se regeneracija odvija na pravem mestu in v pravilni obliki. Uspešna regeneracija je rezultat natančnega medsebojnega delovanja celic v zgodnjih fazah razvoja blastema, saj le pravilna interakcija omogoča tvorbo novih tkiv. V kasnejših fazah celice blastema nosijo vse potrebne informacije za dokončno obnovo okončin ali drugih struktur. Raziskave kažejo, da ima pri tem pomembno vlogo tudi imunski sistem, ki vpliva na učinkovitost regeneracije in pravilno delovanje celic med celotnim procesom (4). Tako nadzorujejo nastanek regeneracijskega tkiva na pravilnem mestu. V primeru pravilnega medsebojnega delovanja celic in pravega zgodnjega razvoja teh dogodkov se formira blastem. V poznih fazah regeneracije nosijo vse za ta proces pomembne celice informacijo za ponovno formacijo okončine. Nekatere raziskave kažejo, da ima na regeneracijsko sposobnost pomemben vpliv delujoč imunski sistem (4).

Slika 3 prikazuje postopek regeneracije nove okončine po poškodbi. Takoj po amputaciji rano prekrije plast epiteljskih celic, ki v nekaj dneh postane oživčena in tvori strukturo, znano kot apikalna epiteljska kapa (AEC). V začetnih fazah blastema raste, vendar še ne oblikuje diferenciranih struktur. Šele v kasnejših fazah se globlje ležeče celice



Slika 3: Prikaz regeneracije okončine aksolotla (povzeto po (5))

začnejo postopoma diferencirati v specifična tkiva, medtem ko celice na površini ostanejo nediferencirane in intenzivno proliferirajo. V končni fazi regeneracije se vse celice blastema preoblikujejo v nove, ki v celoti nadomestijo izgubljeno okončino (4, 6).

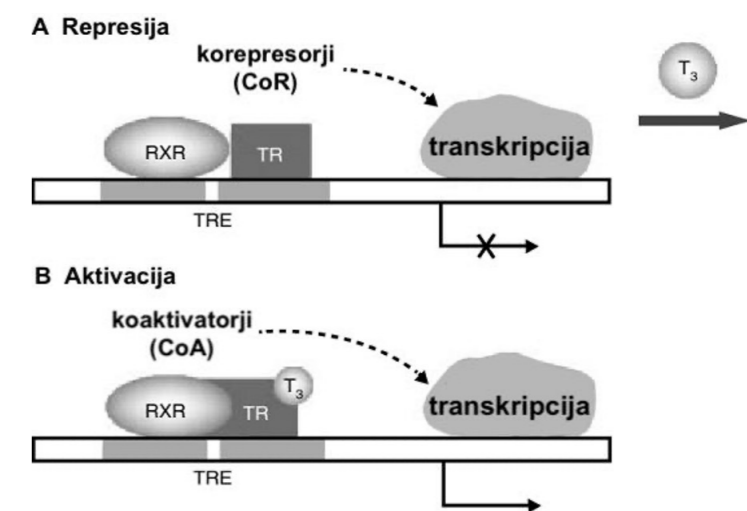
V medicini se raziskave osredotočajo predvsem na zgodnje faze regeneracije, zlasti na nevronske-epiteljske interakcije, ki so ključne za nastanek blastema. Različne raziskovalne skupine preučujejo, kako se ti mehanizmi pri aksolotlih razlikujejo od procesov pri drugih vrstah, ki imajo omejeno sposobnost regeneracije, z namenom uporabe teh spoznanj v regenerativni medicini.

## VPLIV ŠČITNIČNIH HORMONOV NA METAMORFOZO

Aksolotli so dvoživke, ki spolno dozori na stopnji ličinke, saj ne gredo skozi fazo metamorfoze. Ta pojav, znan kot neotenija, je pri aksolotlih običajen, medtem ko je pri večini dvoživk metamorfoza ključni korak tekom razvoja. Čeprav je metamorfozo pri aksolotlih mogoče sprožiti z aplikacijo ščitničnih hormonov, se takšni poskusi pogosto končajo s skrajšano življenjsko dobo ali celo smrtjo osebkov, hkrati pa se znatno zmanjša njihova sposobnost regeneracije (7).

Ščitnični hormoni, kot sta tiroksin (T4) in trijodtironin (T3), nastajajo iz joda in aminokislina tirozina. Tiroksin (T4) se tvori z vezavo dveh molekul diiodtirozina, medtem ko fiziološko aktivna oblika, trijodtironin (T3), večinoma nastaja z dejodinacijo

T4. Lahko pa nastane tudi neposredno, z vezavo diiodtirozina in moniodtirozina. Ti hormoni prehajajo v celice s pomočjo transportnih proteinov in se vežejo na ščitnične hormonske receptorje (TRs), ki delujejo kot transkripcijski faktorji in uravnavajo ekspresijo genov, kot sta TR $\alpha$  in TR $\beta$  (9, 12). Pri aksolotlih zaradi motenj v hipotalamus-hipofizno-ščitnični osi ne pride do ustreznega dviga T3 v krvi, ki je potreben za sprožitev metamorfoze (8). Ob vezavi ščitničnih hormonov na receptorje TRs pride do konformacijske spremembe receptorjev. V odsotnosti ščitničnih hormonov korepresorski proteini zavirajo njihovo delovanje in preprečujejo prepis določenih genov. Ko se TRs vežejo na retinoidne receptorje X (RXR), se sprostijo korepresorji, kar omogoči vezavo na hormonske odzivne elemente (HREs) v DNK (slika 4). S tem se aktivirajo koaktiva-



Slika 4: Prikaz delovanja ščitničnih hormonov na transkripcijo genov (povzeto po (12))

torski proteini, ki sprožijo ekspresijo ključnih genov, potrebnih za razvoj organov med metamorfozo. Čeprav so receptorji TRs in RXR med vretenčarji evolucijsko dobro ohranjeni, se vpliv ščitničnih hormonov na izražanje genov med različnimi vrstami razlikuje. Kljub temu je odziv aksolotlov na ščitnične hormone v osnovi podoben odzivu pri sesalcih, kar poudarja njihovo pomembno vlogo v razvoju dvoživk. Pri aksolotlih neotenija vztraja skozi celotno življenje zaradi več dejavnikov: neučinkovite pretvorbe T4 v aktivno obliko T3, prisotnosti neaktivnih oblik T3 ter omejenega števila funkcionalnih receptorjev TRs (9).

Proces metamorfoze pri aksolotlih spremljajo številne morfološke in biokemične spremembe, ki so ključne za prilagoditev življenju na kopnem. Nekateri organi in tkiva doživijo bistvene preobrazbe, medtem ko se nekatera spremenijo le minimalno. Najbolj opazne spremembe se zgodijo na koži, repu, vranici in žolčniku, medtem ko možgani, jezik, srce, pljuča, jetra, želodec, črevesje, skeletna mišičnina, žile in kostno tkivo ostanejo skoraj nespremenjeni (9).

Epidermis ličinke sestavlja enoskladen večvrstni epitelij, ki vsebuje epitelne in Leydigove celice. Po metamorfozi se epitelij preoblikuje v večskladni ploščat poroženevajoč epitelij, podoben koži drugih kopenskih vretenčarjev. Novonastali vrhni sloj kože je tanjši, brez dlak, žlez lojnic in znojnic. Za razliko od kože drugih dvoživk odrasli osebk aksolotla nimajo Leydigovih celic, vendar se pri njih razvijejo izrazite plasti epitelija, kot so *stratum spinosum*, *stratum granulosum* in *stratum corneum*, ter številne mukozne žleze pod epitelijem. Dermis je sestavljen iz rahlega fibrilarnega veziva s kolagenimi vlakni in fibroblasti. Po metamorfozi postane razporeditev kolagenih vlaken bolj izrazita, zlasti okoli mukoznih žlez, kjer so vidna tudi elastična vlakna. Pri ličinki aksolotla igra koža ključno vlogo pri oskrbi telesa s kisikom in vodo. Prilagoditev epitelija med metamorfozo je zato bistvena za zmanjšane izgube vode ter primerno zaščito pred mehanskimi poškodbami. Mukozne žleze zagotavljajo vlažnost kože, ščitijo pred patogeni in pomagajo pri uravnavanju telesne temperature (9).

Rep ličinke aksolotla je prekrit s podobnim epitelijem kot preostali del telesa. Pod njim se nahaja fibrilarno vezivo in nato plast značilno oblikovane skeletne mišičnine, obdane z vezivnim tkivom (perimizij). Osrednji del repa sestavlja hrbtne struna, ki vsebuje horoidno tkivo. Med metamorfozo pride do izgube plavuti, najopaznejša sprememba pa je

preoblikovanje epitelija v večskladni ploščat poroženevajoč epitelij. Kljub spremembam v strukturi repa ostanejo mukozne žleze, hrbtenjača in hrbtne struna s horoidnim tkivom prisotne. Preoblikovanje epitelija na repu igra ključno vlogo pri vzdrževanju vlage in preprečevanju izgube vode (9).

Vranica ima veliko bele pulpe bogate z limfociti, ki obkrožajo centralno veno, medtem ko rdečo pulpo večinoma sestavljajo eritrociti. Zaradi aktivne vloge v hematopoezi sta obe pulpi dobro razviti in jasno ločeni. Po metamorfozi pride do izginotja krvnih celic in trabekularnih struktur, zaradi česar se rdeča in bela pulpa težje razlikujeta (9).

Žolčnik ličinke je sprva prekrit z enostavnim enoskladnim izoprizmatičnim epitelijem in ima le malo resic, mišična plast pa je odsotna. Z napredovanjem metamorfoze se število resic poveča, razvije se krožna gladka muskulatura med fibrilarnim vezivom, epitelij pa postane enoskladni večvrstni epitelij. Spremembe, kot so povečano število resic, prisotnost mišične plasti in preoblikovanje epitelija, kažejo na to, da se pri odraslih osebkih žolč koncentira v jetrih (9).

## AKSOLOTLI V UJETNIŠTVU

Aksolotle lahko naselimo v prostoren akvarij skupaj z drugimi osebki iste vrste, kar predstavlja razliko v primerjavi z večino drugih dvoživk, ki so samotarske in jih je treba gojiti posamično. Za njihovo bivanje je primerna vodna ureditev v obliki akvarija ali akvaterarija (10). Pomembno je zagotoviti hladno in čisto vodo, ki ne vsebuje težkih kovin, pesticidov in drugih škodljivih kemikalij (11). Raven nitritov, nitratov in amonijaka v vodi moramo vzdrževati na 0 mg/L, pri čemer moramo posebno pozornost nameniti tudi biološki potrebi po kisiku ter ohranjanju nizkih temperatur. Priporočljivo je, da zato akvarij postavimo v hladen prostor s temperaturo med 14 in 20 °C. Aksolotli niso zelo aktivne živali, zato zanje ne potrebujemo velikega akvarija (11). Priporočljivo je zasaditi akvarij z vodnimi rastlinami, ki pripomorejo k zadostni oskrbi s kisikom in hkrati služijo kot skrivališče. Dodatno varnost jim lahko nudimo tudi z večjimi kamni, ki posnemajo njihovo naravno okolje. Za vzdrževanje ustrezne temperature lahko uporabimo talni grelec, ki ga prekrijemo s kamenjem ali zakopljemo v pesek (10). Odrasle živali hranimo dva- do trikrat tedensko, enkrat na leto pa jim privoščimo post, ki traja vsaj tri tedne. Mlajši osebki potrebujejo pogostejše hranjenje, pri čemer post ne sme trajati dlje kot tri dni.

Kot hrano jim ponudimo predvsem živo hrano, medtem ko briketi služijo le kot dodatek, saj vsebujejo preveč žit in rastlinskih beljakovin, ki niso optimalne za njihovo prehrano (11).

## LITERATURA

1. National Geographic. 2024. Axolotl. <https://www.nationalgeographic.com/animals/amphibians/facts/axolotl> (dostopno 28. 10. 2024)
2. Wikipedia: Axolotl (dostopno 2. 2. 2025) [https://en.wikipedia.org/wiki/Axolotl#cite\\_note-1-15](https://en.wikipedia.org/wiki/Axolotl#cite_note-1-15)
3. Axolotl Planet. 2024. (dostopno 2. 2. 2025) <https://axolotlplanet.com/>
4. The Dallas World Aquarium. Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). <https://dwazoo.com/animal/axolotl/> (dostopno 28. 10. 2024)
5. Wells KM, Kelley K, Baumel M, Vieira WA, McCusker CD. Neural control of growth and size in the axolotl limb regenerate. 2021; *eLife* 10:e68584.
6. McCusker C, Bryant SV, Gardiner DM. The axolotl limb blastema: cellular and molecular

mechanisms driving blastema formation and limb regeneration in tetrapods. *Regeneration*. 2015; 11: 54–71.

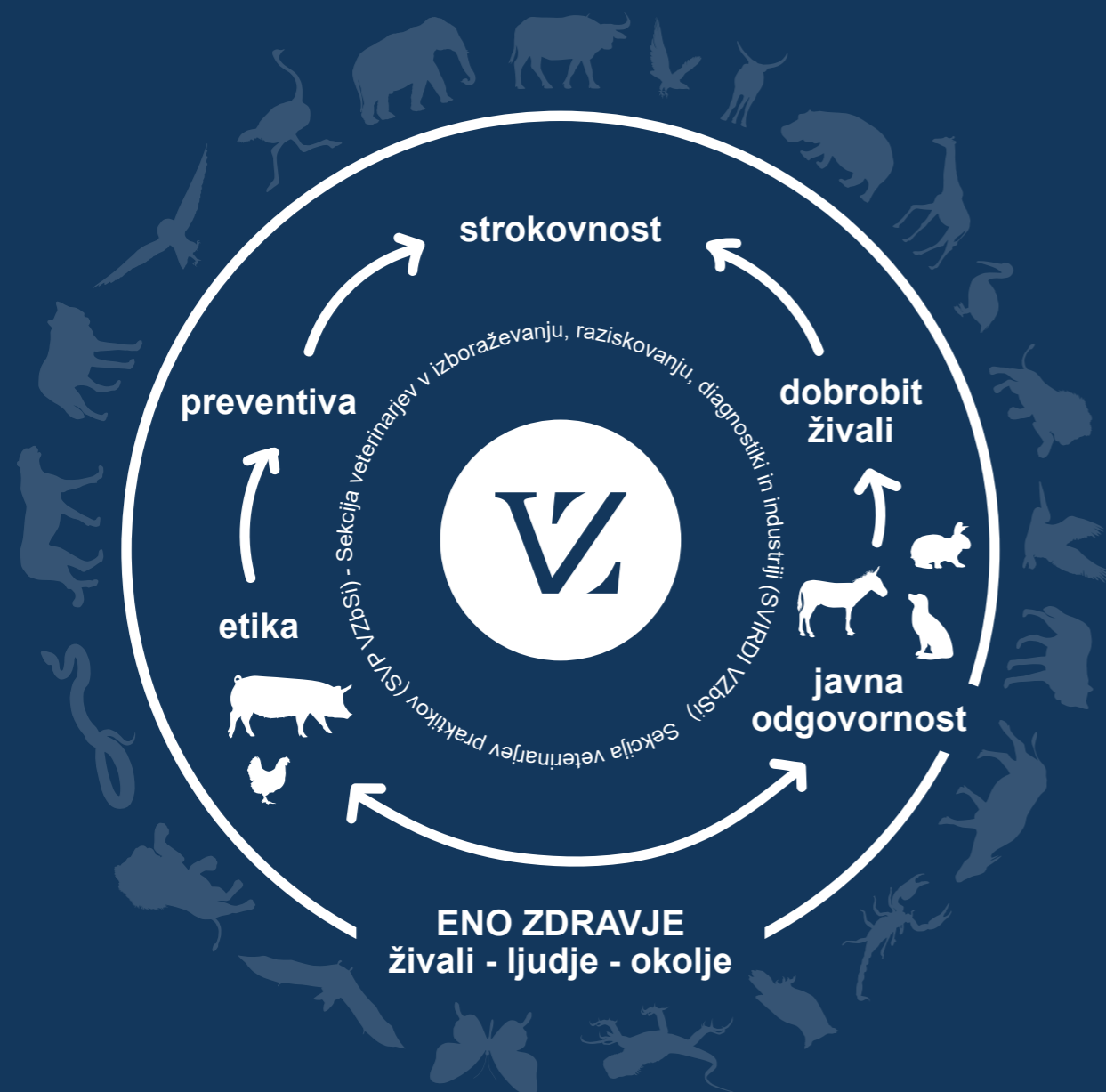
7. Goršič M. Axolotl – a supermodel for tissue regeneration. *Slov Vet Res* 2007; 44 (1/2): 5–10.
8. Bölük A, Yavuz M, Demircan T. Axolotl: A resourceful vertebrate model for regeneration and beyond. *Developmental dynamics* 2022; 251: 1914–33.
9. Demircan T, İlhan Elif A, Aytürk N, Yıldırım B, Öztürk G, Keskin I. A histological atlas of tissues and organs of neotenic and metamorphosed axolotl. *Acta Histochem* 2016; 118: 746–59.
10. Kubale V. Skrb za zdravje eksotičnih živali v sožitju s človekom: informativni priročnik za lastnike živali in študijsko gradivo za študente veterinarstva. 1. Izdaja. Ljubljana: Veterinarska fakulteta, 2018: 194–203.
11. Kvas T. Mehiški prečnozobec – aksolotl. <https://alfa-in-betta.si/mehiski-precnozobec-axolotl/> (dostopno 26. 10. 2024)
12. Patel J, Landers K, Li H, Mortimer RH, Richard K. Thyroid hormones and fetal neurological development. *J Endocrinol* 2011; 209: 1–8.

Slika 4: Aksolotl. Vir: Axolotl Planet (2026). <https://axolotlplanet.com/products/leucistic-axolotl> (dostopno 16.1. 2026)



# Veterinarska zbornica Slovenije

Neodvisna poklicna organizacija doktorjev veterinarske medicine na območju Republike Slovenije, ki zastopa in uveljavlja poklicne, ekonomske in socialne interese svojih članov.



Veterinarska zbornica Slovenije  
Veterinary Chamber of Slovenia



TAČKADARUJE



REŠUJ tudi ti!

Spoštovani študentje in študentke veterinarske medicine na Veterinarski fakulteti UL, dragi kolegi in kolegice!

Veseli me, da pod mentorstvom profesorice in profesorjev soustvarjate tako kvalitetno študentsko revijo kot je Ructus. Lahko ste ponosni na vsak izvod revije, ki ga brezplačno prejmejo vsi študentje in študentke, profesorji in strokovni delavci Veterinarske fakultete. Vem, da je za pripravo kvalitetnih člankov potrebno žrtvovati veliko prostega časa, ki ga med študijem nikoli ni dovolj.

Ure in ure praktičnega dela, beleženje rezultatov, iskanje informacij v strokovni literaturi in potem še vse skupaj ubesediti, ni mačji kašelj. Za vaše delo vam iskreno čestitam. Verjamem, da ste tisti, ki ste že v višjih letnikih in morda tudi tisti, ki jim študij veterinarske medicine ni bila prva izbira ob koncu srednje šole, ugotovili, da ste se odločili prav. Da ste se med sošolci in sošolkami znašli v sredini, ki je nekako drugačna od ostalih ljudi. Morda smo veterinarji nekoliko bolj empatični do živali in do ljudi. Predvsem empatija do živih bitij nas dela drugačne.

Na Veterinarski zbornici Slovenije smo veseli vsakega novega člana, kar kaže na to, da je slovenskih veterinarjev vedno več, žal pa še vedno premalo tistih, ki bi želeli delati v praksi, predvsem z velikimi živalmi. Na nas se skoraj dnevno obračajo naši člani s prošnjami za objavo prostih delovnih mest v njihovih ambulantah. Zato si želimo, da bi se več diplomantov Veterinarske fakultete odločilo poklic veterinarja opravljati tudi v okviru veterinarskih organizacij.

Veterinarski poklic res ni lahek, je pa lep.

Kljub napornemu delu, ki ga prinaša opravljanje veterinarskega poklica, je veliko vredno, ko se z našo pomočjo izboljša zdravje živalskih pacientih, ko je uspešno zaključena raziskava ali zastavljen projekt. Vse naštetu pa lahko uresničujejo le veterinarji s svojim strokovnim znanjem, z dobrim odnosom do kolegov in etičnim odnosom do pacientov. Na Upravi Veterinarske zbornice smo zaposleni štirje sodelavci, ki smo z veseljem pripravljeni z informacijami pomagati našim članom, bodočim članom, lastnikom živali ter vsakemu, ki se z vprašanjem obrne na nas.

Vabim vas, da si na tej povezavi <https://www.vzb.si/> pogledate kaj več o vodstvu in aktivnostih Veterinarske zbornice Slovenije, najdete pa tudi naše kontaktne podatke. Veseli nas, da tudi z našim prispevkom vsaj nekoliko pomagamo pri pripravi tako kvalitetne revije kot je Ructus.

Želim vam uresničitev vaših zastavljenih ciljev tako na poklicnem kot zasebnem področju.

Predvsem pa vam želim, da bi še naprej ostali nekoliko drugačni ljudje v smislu poznavanja zdravstvenih in etoloških potreb živali, da vam nikoli ne bi zmanjkalo topline do živali in mirnih živcev pri odnosu z njihovimi lastniki.

Lep pozdrav,

Anita Kermavnar, dr. vet. med., direktorica Veterinarske zbornice Slovenije.

# PLAVALNI MEHUR PRI RIBAH KOSTNICAH: ZGRADBA, FUNKCIJE IN EVOLUCIJSKE PRILAGODITVE

Avtorici: Tia Alfrev, študentka Veterinarske fakultete, prof. dr. Valentina Kubale, Inštitut za predklinične vede, Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## POVZETEK

Plavalni mehur je votel organ, ki kostnicam omogoča nevtralno plovnost, stabilnost in nadzor nad gibanjem v vodi. Obstajata dve obliki plavalnega mehurja: fiziostomni tip, pri katerem je plavalni mehur povezan z žrelom, in fizioklistni tip, kjer te povezave ni in je značilen za globokomorske vrste rib. Glavna funkcija plavalnega mehurja je uravnavanje vzgona, poleg tega pa deluje tudi kot zvočni ojačevalec. Hrustančnice plavalnega mehurja nimajo, saj jim pri zagotavljanju vzgona pomagajo jetra, bogata z lipidi, hrustančni skelet in hidrodinamična oblika telesa. Evolucijsko pljuča in plavalni mehur izhajajo iz skupnega dorzalnega izrastka prebavnega trakta, pri čemer preoblikovanje pljuč v plavalni mehur odraža funkcionalno prilagoditev glede na življenjski prostor.

Ključne besede: plavalni mehur; kostnice; plovnost; akustični organ.

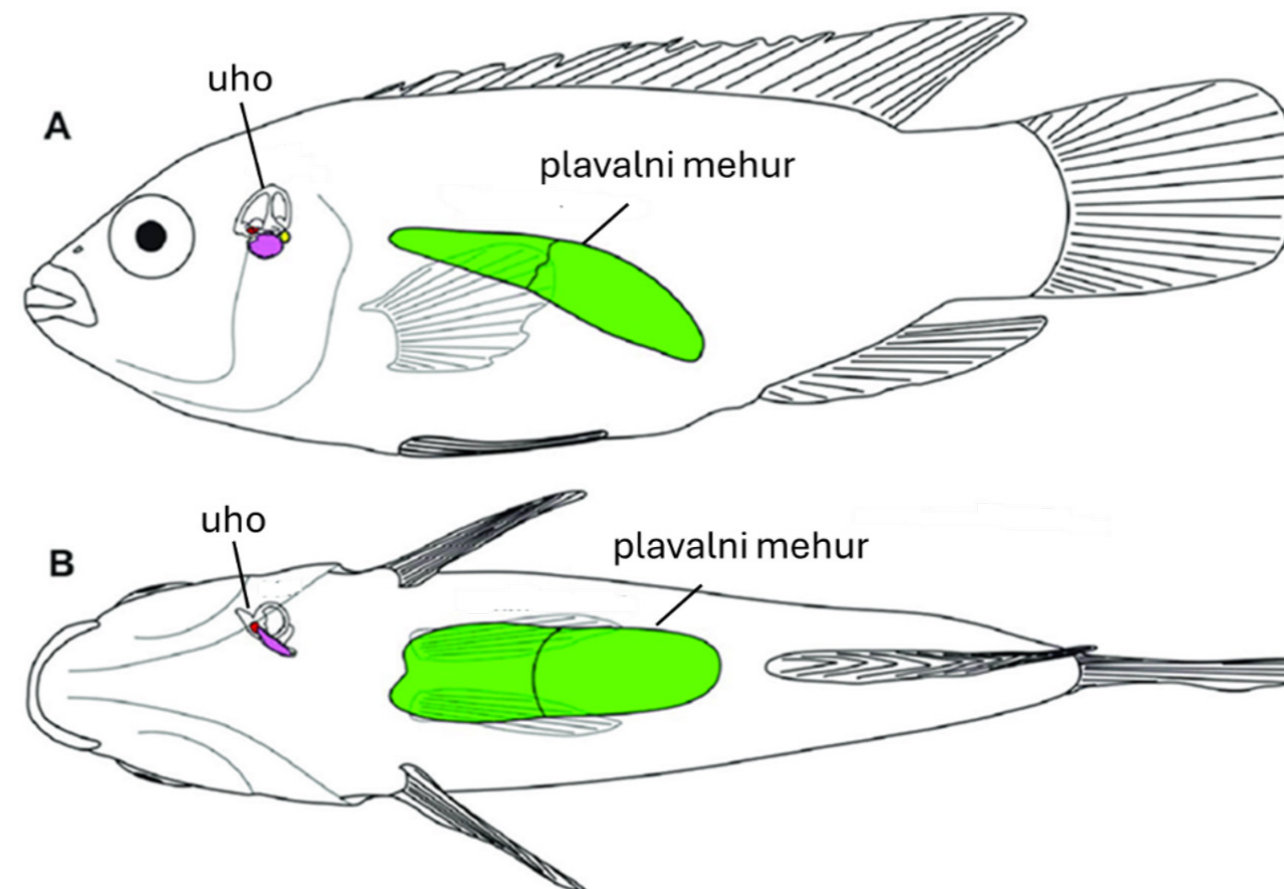
Plavalni mehur (*vesica natatoria*) je votel, z zrakom napolnjen organ, ki se nahaja v trebušni votlini večine rib kostnic (*Teleostei*). Osnovna naloga plavalnega mehurja je uravnavanje nevtralne plovnosti, kar ribam omogoča, da z minimalnim naporom ohranjajo želeno globino v vodi. Poleg uravnavanja plovnosti plavalni mehur sodeluje tudi pri zaznavanju in oddajanju zvoka. V različnih okoljskih razmerah so se razvile njegove številne anatomske in funkcionalne prilagoditve. Prisotnost plavalnega mehurja je ena ključnih razlik med kostnicami in hrustančnicami; slednje ga nimajo, zato za vzgon uporabljajo druge mehanizme.

## ZGRADBA PLAVALNEGA MEHURJA

Plavalni mehur se pri kostnicah pojavlja v dveh različnih oblikah in sicer kot fiziostomni (iz angl.

*physostomous*) in fizioklistni tip (iz angl. *physoclistous*) plavalnega mehurja, ki se med seboj razlikujeta glede na njihove anatomske značilnosti in načina uravnavanja plovnosti.

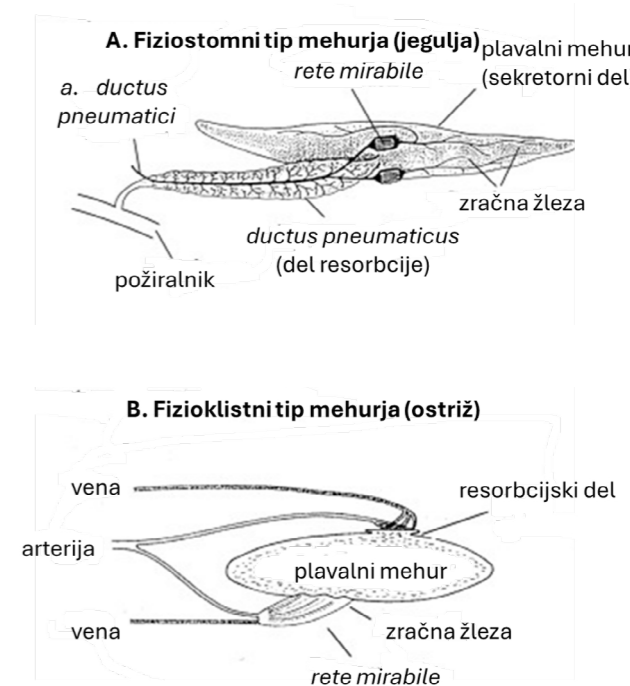
Za fiziostomni tip plavalnega mehurja je značilno posebno uravnavanje plavanja s pomočjo obstoječe povezave med plavalnim mehurjem in prebavili (žrelom) preko pnevmatičnega voda (*ductus pneumaticus*), kar omogoča pasivno uravnavanje plinov z goltanjem ali izločanjem zraka, hitro izmenjavo plinov z okoljem in plavanje na različnih globinah. Ta anatomska povezava omogoča ribam, da z goltanjem zraka na površini učinkovito napihnejo ali izpraznijo plavalni mehur, kar je bistveno za takojšnje uravnavanje plovnosti glede na spremembe v okolju. Ta oblika je značilna za ribe, ki živijo v bližini vodne površine ali v sladkovodnih habitatih, kjer je dostop do zraka pogost in ga lah-



Slika 1: Anatomski položaj plavalnega mehurja: (A) lateralni pogled, (B) ventralni pogled (povzeto po Schulz-Mirbach T., 2012)

ko prevzamejo direktno s površine vode. Histološka zgradba plavalnega mehurja je pri teh vrstah praviloma enostavnejša, saj ne potrebujejo kompleksnih notranjih mehanizmov za aktivno izmenjavo plinov.

Fizioklistni tip plavalnega mehurja je značilen za globokomorske vrste rib, ki spadajo med teleoste in je anatomsko kompleksen in histološko specializiran organ, lociran dorzalno v trebušni votlini med prebavnim traktom in hrbtenico (slika 1). Značilen je za ribe, pri katerih ni povezave med zračnim mehurjem in prebavili (žrelom), kar pomeni, da ne morejo napolniti mehurja z zrakom preko ust, ampak je za zrak v plavalnem mehurju pomembna posebna plinska žleza (iz angl. *gas gland*) in čudežna mreža (*rete mirabile*). Le-ta v tem primeru deluje kot protitokovna kapilarna mreža, ki ima vpliv na koncentracijo plinov v krvi (slika 2) in omogoča natančno regulacijo plovnosti tudi pri visokih tlakih, kjer fizičen dostop do zraka ni možen. Prehod iz fiziostomnega v fizioklistni tip plavalnega mehurja predstavlja pomembno evolucijsko prilagoditev, saj zahteva razvoj specializiranih tkiv, ki omogočijo večjo funkcionalno neodvisnost od okolja. Zgradba plavalnega mehurja neposredno odraža ekološke potrebe vrste in predstavlja ključen dejavnik za uspešno prilagoditev v različnih vodnih nišah.



Slika 2: Primerjava anatomskih razlik med fiziostomnim in fizioklistnim tipom plavalnega mehurja (povzeto po Pelster B., 2024)

Stenska zgradba plavalnega mehurja je sestavljena iz več plasti: notranjega enostavnega enoskladnega epitelijskega *tunice interne*, vezivnega tkiva in gladkih mišic. Zgradba omogoča mehansko podporo plavalnemu mehurju in omogoča prilagajanje njegovega volumna glede na potrebe organizma. Plinska žleza pa je sestavljena iz enostavnega večvrstnega izoprizmatičnega epitelijskega z vakuoliziranimi celicami, ki omogočajo aktivno izločanje plinov, kot so kisik, ogljikov dioksid ter mlečne kisline v notranjost plavalnega mehurja. Pomemben del regulacije plinov predstavlja še *rete mirabile* iz gosto razporejenih arterijskih in venskih kapilar, oblikovanih v protitokovni izmenjevalni sistem, kar omogoča koncentracijo plinov in njihovo pasivno difuzijo v plavalni mehur. Ta kompleksna struktura omogoča ribam natančno regulacijo sestave plinov v plavalnem mehurju, kar je bistveno za vzdrževanje stabilnosti in prilagoditev volumna organa glede na notranje potrebe (Yu, 2022).

Fiziostomni plavalni mehur je ključen organ za hitro prilagajanje plovnosti pri ribah, kot je navadna cebrica (*Danio rerio*). Pri zgodnjem razvoju larv navadne cebrice je ta funkcija še posebej pomembna, saj pravilno in hitro napihovanje plavalnega mehurja omogoča larvam vzdrževanje stabilnosti in nadzor gibanja v različnih globinah že v prvih dneh po izvalitvi. Mehanski dražljaji, zaznavani preko bočne linije (čutni organ pri ribah, ki s pomočjo mehanskih receptorjev zaznava gibanje in tokove v vodi ter omogoča orientacijo in zaznavanje okolice), igrajo ključno vlogo pri usmerjanju larv k površini vode za prvo vdihavanje zraka, kar je potrebno za pravilno polnjenje plavalnega mehurja. Ta zgodnja izmenjava plina omogoča larvam, da pridobijo plovnost, ki je bistvena za njihovo preživetje, gibanje in uspešno iskanje hrane v okolju (Venuto, 2023).

Fiziostomne vrste rib, kot sta postrv in krap, uravnava vzgon hitro z zaužitjem ali izločanjem zraka skozi pnevmatični kanal, medtem ko fizioklistne vrste (npr. ostriž) to počnejo počasneje, preko izmenjave plinov med krvjo in plavalnim mehurjem (Yu, 2022).

## PLAVALNI MEHUR IN PLOVNOST

Plavalni mehur pri ribah deluje kot ključni organ za uravnavanje vzgona in omogoča natančno prilagajanje plovnosti. S spreminjanjem volumna plina v plavalnem mehurju riba prilagodi svojo gostoto glede na gostoto vode, kar omogoča nevtralno plovnost, lebdenje brez potrebe po stalnem pla-

vanju navzgor ali navzdol. Ta sposobnost učinkovito zmanjšuje energijske stroške gibanja, omogoča stabilnost in nadzor orientacije v vodi ter ribam omogoča hitro prilagajanje različnim okoljskim razmeram (Venuto, 2023).

## AKUSTIČNA FUNKCIJA PLAVALNEGA MEHURJA

Poleg vloge pri vzgonu ima plavalni mehur še funkcijo zvočnega ojačevalca. Zaradi zračne vsebine vibrira ob zvočnih valovih in mehansko prenaša vibracije do notranjega ušesa. Nekatere vrste imajo celo specializirane povezave med plavalnim mehurjem in ušesnimi strukturami (npr. Weberjev aparat pri somih), kar poveča občutljivost za zvok.

Pri ribah vrste *Porichthys notatus* so raziskovalci dokazali, da je občutljivost na zvok, zlasti v predelu *lagene* (del notranjega ušesa), znatno večja pri osebkih z nepoškodovanim plavalnim mehurjem. To potrjuje, da plavalni mehur povečuje učinkovitost zaznavanja zvočnih dražljajev (Vetter, 2020).

Tudi pri somih (*Siluriformes*) je bila ugotovljena povezava med velikostjo plavalnega mehurja in slušno občutljivostjo. Večji plavalni mehur pomeni višjo občutljivost na zvočne valove, zlasti nizkih frekvenc (Lechner, 2008).

## PRILAGODITVE V GLOBOKOMORJU

V globokomorju, kjer tlak lahko presega 100 atmosferskih enot, postane plin v plavalnem mehurju močno stisljiv in zato neučinkovit. Mnoge mezopelagijske ribe zato razvijejo tekočinsko napolnjene plavalne mehurje ali pa jih sploh nimajo.

Pri več vrstah mezopelagijskih rib so identificirali posebne anatomske prilagoditve, kot so zadebeljene stene plavalnega mehurja, zmanjšan volumen in posebne povezave z notranjim ušesom. Takšne spremembe omogočajo ohranjanje akustične funkcije, medtem ko plavalni mehur v globokomorju izgubi vzgonsko funkcijo. Te prilagoditve kažejo na spremembo funkcionalne vloge mehurja iz vzgonske v predvsem senzorično (Deng, 2011).

## PRIMERJAVA S HRUSTANČNICAMI

Hrustančnice (*Chondrichthyes*), med katere sodijo morski psi in raže, nimajo plavalnega mehurja.

Vzgon pri teh vrstah zagotavljajo velika jetra, bogata z olji, predvsem s skvalenom, ki ima nižjo gostoto od vode. S tem učinkovito zmanjšujejo skupno gostoto telesa in ohranjajo plovnost. Raziskave so pokazale, da imajo olja v jetrih globokomorskih morskih psov podobno stisljivost kot morska voda. Zato spremembe globine ne povzročajo večjih nihanj v vzgonu, kar je ključno za ohranjanje stabilnosti v ekstremnih globokomorskih okoljih (Priede, 2020).

Drugo ključno prilagoditev predstavlja njihov skellet iz hrustanca. Pomaga pa jim tudi podolgovata oblika telesa in razporeditev mišic, ki povečujeta hidrodinamičnost ter zmanjšujeta upor pri plavanju.

Za razliko od kostnic, ki lahko aktivno uravnavajo vzgon s plavalnim mehurjem, morajo hrustančnice kombinirati te prilagoditve, da učinkovito manevrirajo in ohranjajo stabilnost v različnih globinah brez stalne potrebe po aktivnem plavanju. Takšen sklop strategij jim omogoča energetsko varčno gibanje in prilagoditev zahtevnim razmeram v vodnem okolju, kjer sta ohranjanje energije in plovnost ključnega pomena (Gleiss, 2017).

## EVOLUCIJA PLAVALNEGA MEHURJA

Nedavne raziskave kažejo, da imajo pljuča in plavalni mehur skupno evolucijsko izhodišče – izvirajo iz dorzalnih izrastkov prebavnega trakta skupnega prednika kostnic (*Osteichthyes*). Med evolucijo so se pri nekaterih linijah vretenčarjev pljuča preoblikovala v plavalni mehur, ki služi uravnavanju plovnosti, medtem ko so druge linije ohranile pljuča kot osnovni dihalni organ. Ta funkcionalna divergenca je ključna prilagoditev glede na življenjski prostor, saj omogoča različnim vrstam optimizacijo za življenje v vodi ali na kopnem. Razumevanje evolucijskih preobrazb je bistveno za razumevanje razvoja adaptacij pri vretenčarjih (Zhang, 2021).

## ZAKLJUČEK

Plavalni mehur je ena najpomembnejših evolucijskih prilagoditev rib kostnic, saj jim je omogočil naselitev in preživetje v širokem spektru vodnih habitatov. Njegova raznolikost, od anatomske zgradbe do senzoričnih funkcij in fizikalnih omejitev, ga uvršča med ključne organe. Sodobne raziskave poudarjajo tesno povezanost med morfologijo plavalnega mehurja ter vedenjskimi in ekološkimi posebnostmi rib, kar ga postavlja v

središče razumevanja biologije rib kot celote. Zaradi svoje izjemne funkcionalne plastičnosti plavalni mehur pomembno prispeva k ekološki raznovrstnosti rib in njihovi sposobnosti prilagajanja na zelo različne življenjske razmere, od sladkovodnih rek do globokomorskih ekosistemov.

## VIRI

- Deng, X., Wagner, H.-J. & Popper, A. N. The inner ear and its coupling to the swim bladder in the deep-sea fish *Antimora rostrata* (Teleostei: Moridae). *Deep Sea Research*, 2011. Part I: Oceanographic Research Papers, 58(1), 27–37. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063710002116> (11. 8. 2025)
- Gleiss, A. C., Potvin, J. & Goldbogen, J. A. Physical trade-offs shape the evolution of buoyancy control in sharks. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1866), 20171345, 2017. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2017.1345> (11. 8. 2025)
- Lechner, W. Size matters: diversity in swimbladders and Weberian ossicles affects hearing in catfishes. *J Exp Biol* (2008) 211 (10): 1681–1689. <https://journals.biologists.com/jeb/article/211/10/1681/17423> (2. 8. 2025)
- Pelster B. Movement specializations: Buoyancy and swimbladders. *Encyclopedia of Fish Physiology (Second Edition) 2024*, Pages 393–404. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323908016001385> (12. 8. 2025)
- Priede, I. G. Near equal compressibility of liver oil and seawater minimises buoyancy changes in deep-sea sharks and chimaeras. *Journal of Experimental Biology*, 2020. <https://journals.biologists.com/jeb/article/223/9/jeb222943/223816/Near-equal-compressibility-of-liver-oil-and> (2. 8. 2025)
- Schulz-Mirbach T. Relationship between Swim Bladder Morphology and Hearing Abilities—A Case Study on Asian and African Cichlids, 2012. [https://www.researchgate.net/figure/Swim-bladder-and-inner-ear-of-S-tinanti-in-A-lateral-and-B-ventral-views-The-swim\\_fig11\\_230645973](https://www.researchgate.net/figure/Swim-bladder-and-inner-ear-of-S-tinanti-in-A-lateral-and-B-ventral-views-The-swim_fig11_230645973) (12. 8. 2025)
- Venuto, A. A sensation for inflation: initial swim bladder inflation in larval zebrafish is mediated by the mechanosensory lateral line. *Journal of Experimental Biology*, 2023. <https://journals.biologists.com/jeb/article/226/11/jeb245635/313573/A-sensation-for-inflation-initial-swim-bladder> (2. 8. 2025)
- Vetter B. J., Sisneros J. A. Swim bladder en-

hances lagenar sensitivity to sound pressure and higher frequencies in female plainfin midshipman (*Porichthys notatus*), 2020. *J Exp Biol.* 2020 Jul 29;223(Pt 14):jeb225177. doi: 10.1242/jeb.225177. PMID: 32587068; PMCID: PMC7406320.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32587068/> (2. 8. 2025)

9. Zhang, G. We're more like primitive fishes than once believed. University of Copenhagen, 2021.

<https://science.ku.dk/english/press/news/2021/>

were-more-like-primitive-fishes-than-once-believed (2. 8. 2025)

10. Yu Y. Teleost swim bladder, an ancient air-filled organ that elicits mucosal immune responses, 2022.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8979957/> (8. 8. 2025)



Fotografije: Anja Rebec

# UŽITNE ŽUŽELKE V KRMI ZA ŽIVALI IN INVESTICIJSKI POTENCIAL

Avtorji: David Dobrodel, študent Ekonomske fakultete, Univerza v Ljubljani, Elizabeta Dobrodel, študentka Veterinarske fakultete, Univerza v Ljubljani, izr. prof. dr. Breda Jakovac Strajn, dr. vet. med., Inštitut za varno hrano, krmo in okolje (Enota za okolje, prehrano, dobrobit in higieno živali), Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani

## IZVLEČEK

Pomanjkanje trajnostnih virov beljakovin v živilni in prehrani hišnih ljubljencev postaja vse večji izziv, saj tradicionalni viri, kot so meso, ribe in soja, močno obremenjujejo okolje (Ahmed in sod., 2021; Gałęcki in sod., 2024; McCusker in sod., 2014). Naraščajoče globalno povpraševanje krepi konkurenco med prehrano ljudi in živali, zato se uveljavljajo alternativni viri z nižjim okoljskim odtisom, med njimi rastline, alge in žuželke. Evropska industrija hrane za hišne ljubljence, vredna več kot 21 milijard evrov, lahko z uporabo žuželk pomembno zmanjša okoljski vpliv in spodbuja krožno gospodarstvo (Ahmed in sod., 2021; Gałęcki in sod., 2024). Žuželke predstavljajo trajnosten, hranilno kakovosten in gospodarsko učinkovit vir beljakovin, ki zmanjšuje odvisnost od konvencionalnih surovin (McCusker in sod., 2014). Ob naraščajoči proizvodnji mesa in omejitvah tradicionalnih beljakovinskih virov njihov pomen še narašča (Clark in sod., 2018; FAO, 2022; Willett in sod., 2019; FAO, 2021). Analize življenjskega cikla potrjujejo, da imata veliki mokaar in črna bojovniška muha bistveno manjši okoljski odtis od perutnine, svinjine in govedine, saj lahko učinkovito pretvarjata organske odpadke v beljakovinsko bogato biomaso (Miglietta in sod., 2015; Smetana in sod., 2019; UNEP, 2021; Surendra in sod., 2020; Van Huis in Tomberlin, 2017; Fowles in Nansen, 2020). Poleg okoljskih koristi žuželke ugodno vplivajo na zdravje živali, med drugim na imunski odziv, pojav driske in črevesno morfologijo (Choi in sod., 2020). Zaradi kakovostnega aminokislinskega profila ter vsebnosti lavrinske kisline so primerljive s sojino in ribjo moko in predstavljajo obetavno trajnostno rešitev za prihodnost živilne pridelave (Sprangers in sod., 2018; Hong in Kim, 2022).

Ključne besede: žuželke; veliki mokaar; črna bojovniška muha; krma; investicijski potencial; trajnost.

## ŽUŽELKE, KI SO NAJBOLJ OBETAVNE ZA INDUSTRIJO

Med najbolj perspektivne vrste žuželk za industrijsko proizvodnjo in vključitev v krmne obroke živali sodijo črna bojovniška muha (*Hermetia illucens*, *H. illucens*), veliki mokaar (*Tenebrio molitor*, *T. molitor*) in navadna hišna muha (*Musca domestica*, *M. domestica*). Zaradi sposobnosti rasti na organskih ostankih ali gnoju z visoko učinkovitostjo pretvorbe hranil te vrste žuželk predstavljajo trajnostno alternativo tradicionalnim virom beljakovin v krmi. Večina raziskav o prehranski vrednosti užitnih žuželk je bila opravljena na perutnini, saj so potrebne količine žuželk za poskuse v reji perutnine bistveno manjše kot v prašičereji. Posledično je dostopnost podatkov o prehranski vrednosti žuželk v krmi za prašiče manjša kot pri perutnini (brojlerji in nesnice). Hkrati je proizvodnja žuželk za komercialne namene še v zgodnji fazi razvoja, zaradi česar je zagotavljanje zadostnih količin teh surovin za krmljenje prašičev trenutno omejeno. Poleg tega je cena beljakovinskih produktov iz žuželk še vedno višja v primerjavi s konvencionalnimi viri beljakovin, kot sta sojina in ribja moka (Hong in sod., 2021).

## Veliki mokaar

Ličinke mokaarja so cenjene zaradi visoke hranilne vrednosti, saj vsebujejo veliko beljakovin, maščob, hitina in protimikrobnih peptidov. Uporabljajo se kot krma za hišne ljubljence, živali v živalskih vrtovih ter ribe, prašiče in perutnino. Vrsta poteka skozi štiri razvojne stadije: jajčeca, ličinke, bube, odrasle žuželke. Samice lahko odložijo do 500 jajčec, razvoj od ličinke do odrasle žuželke pa traja od nekaj tednov do več mesecev.

V komercialni reji se ličinke večinoma hranijo z

žitnimi otrobi ali moko, vir vlage pa predstavljata sadje in zelenjava. Beljakovine se dodajajo s sojino moko, mlekomo v prahu ali kvasom. Krma vpliva predvsem na profil maščobnih kislin, medtem ko je vsebnost beljakovin in maščob razmeroma stabilna. Rastlinski odpadki povečajo delež beljakovin in znižajo delež maščob. Mokaar je zaradi teh lastnosti zanimiv kot trajnostni vir krme in hrane, pri čemer je že komercialno dostopen v več državah (Hong in sod., 2021).

Kakovost žuželk se ocenjuje predvsem na podlagi hranilne sestave. Vsebnost maščob se giblje med 10–50 %, odvisno od vrste, stadija in krme. Ličinke, hranjene s pšeničnimi otrobi, lahko vsebujejo okoli 47 % beljakovin in 43 % maščob, medtem ko drugi viri navajajo tudi višje deleže beljakovin in nižje maščob. Profil maščobnih kislin se prav tako spreminja glede na krmo (Mlček in sod., 2021).

Ličinke vsebujejo skoraj vse esencialne aminokisliline, med maščobnimi kislinami pa prevladujejo palmitinska, oleinska in linolna. Med minerali izstopajo fosfor, kalij in magnezij, medtem ko je vsebnost kalcija nizka, kar lahko predstavlja omejitev pri izključni uporabi ličink v prehrani (Park in sod., 2014).

## Predelava ličink velikega mokaarja

Mednarodna platforma za žuželke namenjene za hrano in krmo (IPIFF) poroča, da se žuželke običajno predelujejo s postopki »zakola« (ogrevanje ali zamrzovanje) ter postopki »po zakolu« (sušenje in mletje). Sušenje je še posebej pomembno zaradi visoke vsebnosti vlage v ličinkah velikega mokaarja (68 %), saj ta lahko povzroči razgradnjo in kvarjenje samih ličink. Po sušenju mora vsebnost vlage znašati 4–5 %. Sušenje v pečici velja za najbolj učinkovito metodo, zaradi kratkega časa obdelave in nizke porabe energije. Po sušenju se ličinke običajno zmeljejo, lahko pa se obdelajo tudi z odstranjevanjem

maščob ali hidrolizo. Odstranjevanje maščob podaljša rok trajanja in prepreči oksidacijo lipidov, kar lahko dosežemo z visokim stiskanjem, organskimi topili ali CO<sub>2</sub> (Hong in sod., 2021).

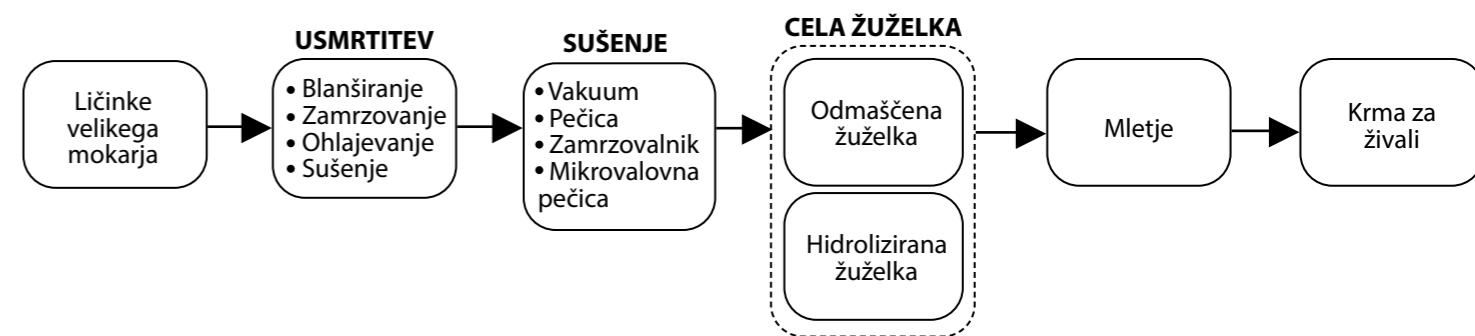
## Črna bojovniška muha

Povprečna vsebnost surovih beljakovin v ličinkah črne bojovniške muhe je okoli 414,7 g/kg, pri čemer raziskave poročajo o 35,85 % (Lu in sod., 2022) ter 41,1–43,6 % (da-Silva in sod., 2024). Ličinke vsebujejo tudi 4,8–5,11 % kalcija, 0,6 % fosforja ter 29–35 % maščob, med katerimi prevladujejo nasičene maščobne kisline (Wang in Shelomi, 2017). Surove vlaknine predstavljajo 7–10 %, pepel pa 14,6–28,4 % (da-Silva in sod., 2024).

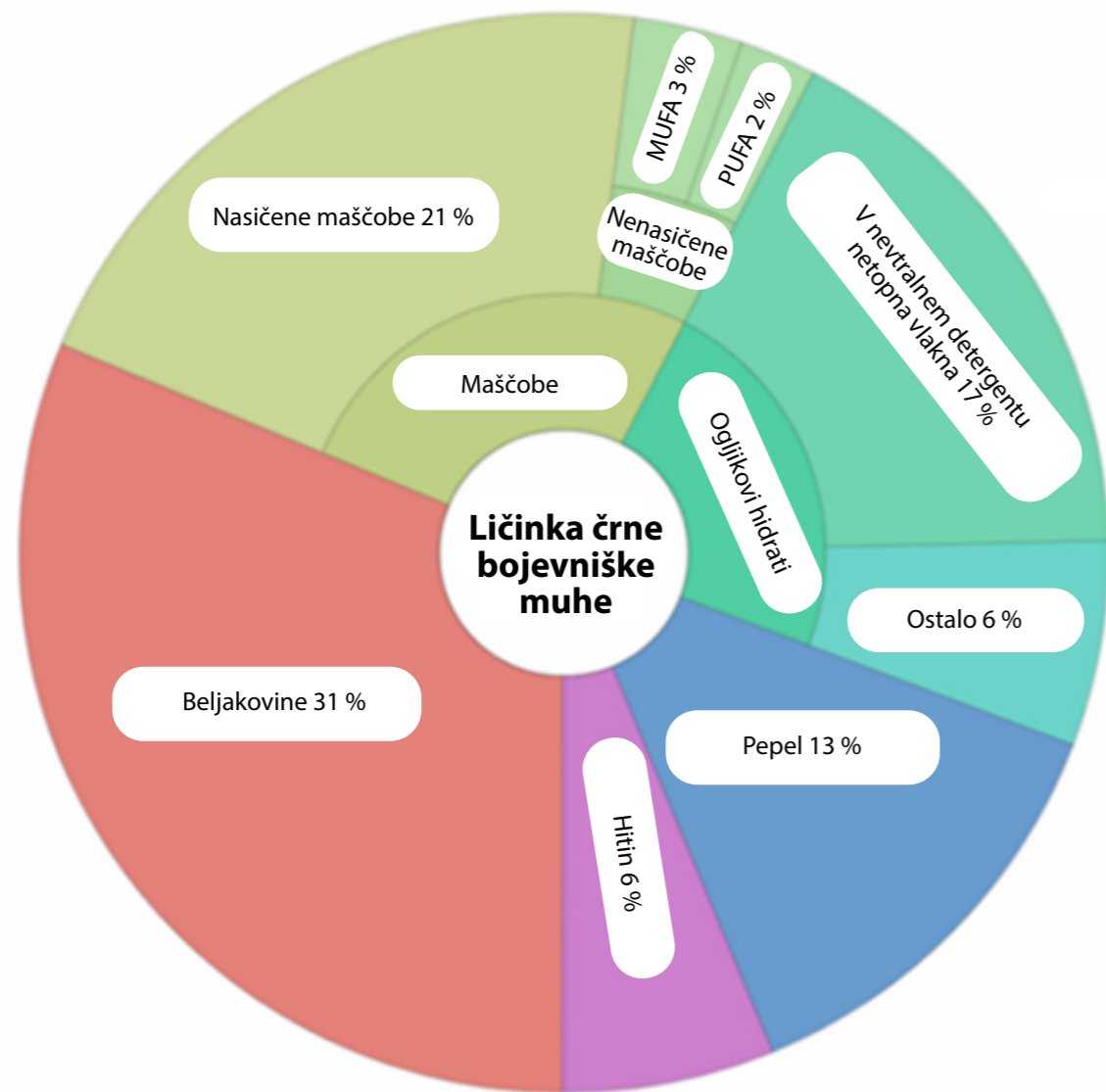
Sestava krme pomembno vpliva na hranilno vrednost. Ličinke, gojene na substratih z nizko vsebnostjo beljakovin in veliko ogljikovih hidratov, pretvorijo ogljikove hidrate v maščobo, zato imajo tiste s sadnih substratov višji delež maščob kot tiste z zelenjave. Razmerje med beljakovinami in ogljikovimi hidrati vpliva na razvojni čas in maso ličink: razmerja od 1:1 do 4:1 skrajšajo razvoj, medtem ko razmerja od 1:2 do 1:4 povečajo maso in vsebnost maščob. (Gold in sod., 2018).

Starost ličink vpliva na delež beljakovin — z naraščanjem starosti se ta zmanjšuje zaradi sklerotizacije, zato je optimalen čas za odstavitev pred razvojem trdnega eksoskeleta (Nyakeri in sod., 2017).

Ličinke so bogate z minerali, zlasti s kalcijem (5–8 %) in fosforjem (0,6–1,5 %), vsebujejo pa tudi železo, mangan, magnezij, natrij, kalij in cink (da-Silva in sod., 2024). Med esencialnimi aminokislinami izstopata levcin in valin (da-Silva in sod., 2024). V maščobnokislinskem profilu prevladuje laurinska kislina (75–575 g/kg), prisotne pa so tudi miris-



SLIKA 1: Shema procesa pretvorbe ličink velikega mokaarja za uporabo v krmi (Dobrodel, 2025)



SLIKA 2: Diagram približne hranilne sestave ličinke črne bojovniške muhe (Ravi in sod., 2020)

tinska, palmitinska in stearinska kislina (Lu in sod., 2022).

### Predelava ličink črne bojovniške muhe

Reciklaža hranil iz bioloških odpadkov v prehranski verigi poteka v štirih fazah. Najprej se organske odpadke uporabi kot substrat za rast žuželk, predvsem ličink črne bojovniške muhe. Nato ličinke z biokonverzijo pretvorijo hranila v beljakovine, lipide in hitin. V tretji fazi se biomasa frakcionira za proizvodnjo živalske in ribje krme, v četrti pa hranila posredno preidejo tudi v prehrano ljudi prek živalskih proizvodov (Ravi in sod., 2020).

Po odvzemu ličink sledi njihova stabilizacija, pri čemer so termične metode, zlasti blanširanje, priporočljive zaradi ohranjanja lipidne stabilnosti, zmanjšanja encimske razgradnje ter boljše učinkovitosti kasnejše ekstrakcije (Ravi in sod., 2020). Frakcioniranje poteka po suhem ali mokrem post-

opku. Suhi postopek vključuje sušenje in mehansko stiskanje za pridobitev beljakovinske moke in maščobne frakcije. Mokri postopek temelji na encimski razgradnji sveže biomase, kar omogoča ločitev vodotopnih beljakovin in lipidne frakcije, bogate s hitinom. Uporaba proteaz, npr. iz *Bacillus licheniformis*, poveča učinkovitost pridobivanja peptidov in prostih aminokislin, kar je pomembno za nadaljnjo uporabo v prehrani in krmnih mešanicah (Ravi in sod., 2020).

### ŽUŽELKE KOT VIR BELJAKOVIN V KRMI ZA ŽIVALI

#### Piščanci

Dörper skupaj s sodelavci (2021) ter Chodová in Tůmová (2020) so ugotovili, da delna zamenjava ribje ali sojine moke z ličinkami črne bojovniške muhe ali hišne muhe koristi rasti in zdravju piščancev, pri

čemer ni negativnega vpliva na kakovost mesa. Nayohan s sodelavci (2022) opozarja, da je pri broilerjih potrebno določiti optimalne ravni vključitve različnih vrst žuželk. Pri trženju jajc kokoši, hranjenih z ličinkami črne bojovniške muhe, pa sta dieta in starost kokoši ključna dejavnika (Secci in sod., 2020; Khaemba in sod., 2021).

Dörper in sodelavci (2021) so izvedli tudi širšo analizo uporabe žuželk kot krme v perutninski industriji. Obravnavajo različne vrste žuželk, ki se trenutno lahko uporabljajo (npr. črna bojovniška muha), ali bi jih bilo mogoče uporabiti ob odobritvi (npr. hišna muha, veliki moka). Avtorji poudarjajo koristi, kot so izboljšano zdravje živali in boljša pretvorba krme pri različnih kategorijah (nesnice, piščanci za meso) (Dörper in sod., 2021).

#### Prašiči

Ličinke črne bojovniške muhe lahko delno nadomestijo sojino moko ter izboljšajo prebavo, imunski odziv in morfolgijo tankega črevesa pri odstavljenih (Choi in sod., 2020; Kar in sod., 2021). Bogate so z lavrinsko kislino z protimikrobnimi učinki (Spranghers in sod., 2018), njihova prebavljivost aminokislin ter rastni učinek pa sta primerljiva s sojino ali ribjo moko (Hong in Kim, 2022; Veldkamp in Vernooij, 2021). Dodajanje majhnih količin živih ličink po odvajanju lahko izboljša dobrobit prašičkov (Ipema in sod., 2021). Veldkamp in Vernooij (2021) poudarjata, da vključitev žuželk ne zmanjšuje rasti, vendar so zaradi variabilnih rezultatov potrebne dodatne raziskave.

V primerjavi s perutnino je o uporabi moke ličink velikega moka pri prašičih malo podatkov, predvsem zaradi večjega dnevnega vnosa krme in posledično potrebnih večjih količin ličink (Hong in sod., 2020). Povečevanje deleža ličink velikega moka izboljša povprečni dnevni prirast, vnos krme, izkoristek ter prebavljivost hranil, hkrati pa znižuje koncentracijo sečninskega dušika v krvi, kar kaže na boljšo izrabo beljakovin (Jin in sod., 2016). Do 10 % moke velikega moka ne vpliva na rast, povzroči pa povišane koncentracije več aminokislin v plazmi; med esencialnimi pri črni bojovniški muhi izstopata levcin in valin (Meyer in sod., 2020).

Več študij potrjuje možnost zamenjave ribje moke z ličinkami velikega moka. Dodatek 2 % moka ob popolni zamenjavi ribje moke zagotovi primerljiv rastni odziv (Jonas-Levi in sod., 2017), razmaščena moka moka pa lahko v deležih 5 % in 3 % učinkovito nadomesti ribjo moko ter celo poveča

koncentracijo IgG (Ko in sod., 2020). Kljub potencialu so raziskave omejene zaradi visoke cene in slabe dostopnosti (Hong in sod., 2020).

Ličinke črne bojovniške muhe predstavljajo hranilno bogat vir beljakovin z ugodnim aminokislinskim profilom. Suha polno-maščobna moka običajno vsebuje 35,9–48,1 % surovih beljakovin in 36,8–48,1 % etrskega ekstrakta (Hong in Kim, 2021), delno razmaščena pa okoli 59 % beljakovin in 9 % etrskega ekstrakta (Biasato in sod., 2019).

Pri tekačih zamenjava 50 % živalskih beljakovin z moko črne bojovniške muhe ne vpliva na rast, med 7. in 21. dnem pa izboljša razmerje med prirastom in zaužito krmo za 12 %, brez negativnih učinkov na prebavila (Crosbie in sod., 2021). Dodatek 10 % razmaščene moke črne bojovniške muhe pri odstavljenih prašičih ne vpliva na hematologijo, prebavljivost ali histologijo črevesja, enako velja za 8 % ličink in 5,42 % razmaščeni ličink (Spranghers in sod., 2018). Pri rastočih prašičih dodatek 0,8 % ličink črne bojovniške muhe ne spremeni rasti, poveča pa koncentracijo skupnih beljakovin in levkocitov v krvi (Hong in Kim, 2022).

Moka črne bojovniške muhe pozitivno vpliva tudi na črevesno mikrobioto in zrelost tankega črevesa, z večjo prisotnostjo bakterij, ki tvorijo kratkoveržne maščobne kisline, brez negativnih histoloških učinkov (Biasato in sod., 2020).

#### Ribe

Liland s sodelavci (2021) je izvedel obsežno evalvacijo literature o uporabi žuželk v akvakulturi, pri čemer so analizirali 91 publikacij, 415 eksperimentalnih diet za 35 vrst rib in upoštevali 14 vrst žuželk. Ribja moka in olje sta glavni vir beljakovin v akvakulturi, vendar je zaradi naraščajoče cene, podnebnih sprememb ter pomanjkanja metionina in lizina potrebna alternativa (FAO 2020; Jannathulla in sod., 2019). Ličinke črne bojovniške muhe in veliki moka so obetaven vir beljakovin za različne ribje vrste, pri čemer visoke vsebnosti črne bojovniške muhe lahko zavirajo rast, medtem ko veliki moka dobro prenašajo (Hua 2021; Tran in sod., 2022). Glavni izzivi vključujejo prebavljivost beljakovin, uravnoteženost aminokislin in vsebnost nasičenih maščob (Liland in sod., 2021).

#### HIŠNI LJUBLJENČKI

Čeprav hrana za hišne ljubljence predstavlja le okoli 3 % celotne živalske prehrane, se polovica in-

dustrije žuželk osredotoča prav na ta trg. V zadnjih dveh letih so velika podjetja začela ponujati hrano za pse in mačke, ki vključuje žuželke, pri čemer pogosto izpostavljajo njen monoproteinski učinek, kar pomeni, da manj verjetno sproži alergijske reakcije (Bosch in Swanson, 2021).

Pri esencialnih aminokislinah obstajajo določene omejitve: pri črni bojovniški muhi sta za pse problematična metionin in treonin, medtem ko je pri mačkah omejujoč predvsem metionin; pri velikem mokažu je metionin omejitveni dejavnik za obe vrsti; pri hišni muhi pa je omejujoč leucin (Bosch in Swanson, 2021).

Raziskava je pokazala tudi, da je prebavljivost dušika iz žuželk primerljiva s tradicionalnimi viri beljakovin. Laboratorijski poskusi so dodatno pokazali, da beljakovine ličink črne bojovniške muhe učinkovito zavirajo rast bakterije *Clostridium perfringens*, ki je odgovorna za približno 28 % primerov driske pri psih (Dong in sod., 2021).

### Psi

V zadnjem desetletju narašča zanimanje za žuželke kot alternativni vir beljakovin v hrani za hišne ljubljence. Hrana iz ličink črne bojovniške muhe je psom zelo okusna, kar je privedlo do hitrega komercialnega uspeha podjetja Yora Pet Foods (Kelly, 2020). Velika podjetja, kot sta Agri-tech in Agri-Protein ter Mars Petfood, prepoznavajo potencial žuželk za prihodnjo prehrano psov (Bosch in sod., 2014).

### Beljakovinska vrednost in prebavljivost

*In vitro* poskusi so pokazali, da imajo nekatere beljakovine žuželk višjo vsebnost aminokislin, kot jih psi dejansko potrebujejo (Bosch in sod., 2014). Lisenko in sodelavci (2018) so v prehrano odraslih psov vključili 7,5 % in 15 % zofobov, madagaskarskih in pegastih ščurkov. Rezultati so pokazali, da je mogoče dodati do 15 % žuželk, ne da bi to negativno vplivalo na črevesno mikrobioto, fekalne metabolite ali prebavljivost hranil (Lisenko in sod., 2018). Podobno so Böhm in sodelavci (2018) preučevali učinek komercialno dostopnih jedilnih žuželk, kot so kobilice, veliki mokaž in skakuni, pri psih s kliničnimi težavami, kot so slaba kakovost dlake, srbenje in atopijski dermatitis. Dvajset psov, hranjenih z žuželkam dva tedna, se je na dieto odzvalo pozitivno in s tem nakazalo možnost uporabe žuželk kot alternativnega vira beljakovin pri pre-

hranskih intolerancah (Böhm in sod., 2018).

### Vonjalna privlačnost in prehranska sprejemljivost

Kierończyk in sodelavci (2018) so proučevali vonjalno privlačnost različnih obrokov iz žuželk v suhi pasji hrani. V poskusih so psi prejeli hrano, ki je vsebovala črno bojovniško muho, turškega ščurka, velikega mokaža, hišnega črička in komercialno hrano kot kontrolo. Psi so hrano izbirali glede na spol: samci so raje izbirali velikega mokaža, samice pa turškega ščurka. Ti rezultati kažejo, da žuželke ne le zagotavljajo hranila, ampak jih je mogoče uporabiti tudi kot aromatične dodatke, ki izboljšajo okusnost hrane (Kierończyk in sod., 2018).

Jarett in sodelavci (2019) so izvedli poskus z 32 psi, ki so prejeli 0 %, 8 %, 16 % in 24 % čričkovega obroka kot novega vira beljakovin in vlaknin. Analiza črevesne mikrobiote je pokazala, da dodajanje čričkov ne vpliva na raznolikost mikrobiote, kar potrjuje, da so čričkovi obroki primerna alternativa beljakovinam v prehrani psov (Jarett in sod., 2019).

### Vpliv na zdravje in imunski sistem

Razmaščeni obrok ličink črne bojovniške muhe je bil dodan prehrani beaglov, da bi preučili vpliv na njihovo zdravje in imunski sistem (Lei in sod., 2019). Devet samic je 42 dni prejelo 0 %, 1 % ali 2 % razmaščene obroka ličink črne bojovniške muhe. Po intraperitonealni injekciji lipopolisaharidov *E. coli* so psi, hranjeni z razmaščnim obrokom ličink črne bojovniške muhe, pokazali izboljšano prebavljivost suhe snovi in beljakovin ter povečano antioksidativno in protivnetno aktivnost. Podoben poskus je pokazal, da je dodajanje čričkovega obroka (0 %, 8 %, 16 % in 24 %) odraslim psom varno in ne vpliva negativno na zdravje (Kilburn in sod., 2020).

### Mačke

Domače in prostoživeče mačke običajno živijo samostojno in lovijo različne vrste glodavcev, majhne ptice, plazilce ter raznovrstne žuželke. Populacija žuželk se hitro povečuje, kar lahko delno podpira prehranske potrebe mesojedov, kot so mačke, čeprav v manjšem deležu. Plantinga in sodelavci (2011) so ugotovili, da žuželke predstavljajo približno 6 % prehrane mačk, pri čemer so energetske potrebe razporejene na beljakovine (52 %), maščobe (46 %) in ogljikove hidrate (2 %). Tako se žuželke kažejo kot obetaven nov vir beljakovin za zadovol-

jevanje teh potreb (Plantinga in sod., 2011). Lisenko in sodelavci (2018) so v prehrano mačk vključili 7,5 % in 15 % obroka ličink zofobov, madagaskarskih ščurkov in pegastih ščurkov. Rezultati so pokazali, da mačke lahko brez težav prebavijo do 15 % teh treh vrst žuželk, ne da bi to negativno vplivalo na njihovo splošno počutje ali zdravje prebavil (Lisenko in sod., 2018).

### Kunci

Kunci imajo drugačno prebavo kot perutnina, prašiči ali psi, zato se ugotovitve iz teh vrst ne prenašajo neposredno. Prvi poskusi vključevanja žuželk v prehrano zajcev segajo v leto 1987, ko so ličinke sviloprejk nadomestile del soje (Carregal in Takahashi, 1987). V zadnjem času se kot vir energije uporablja maščoba žuželk, predvsem črne bojovniške muhe in velikega mokaža (Martins in sod., 2018).

Krmljenje maščobe črne bojovniške muhe vpliva na maščobni profil mesa, zvišuje nasičene maščobne

kislino in lavrinsko kislino, ne da bi to negativno vplivalo na rast, prebavo ali lastnosti trupov (Zotte in sod., 2018; Martins in sod., 2018). Nadomestitev 1,5 % sojinega olja z oljem črne bojovniške muhe in velikega mokaža v deležu 50–100 % prav tako ni vplivala negativno na rast, črevesni razvoj ali prebavljivost hranil (Gasco in sod., 2019).

## ŠTROŠKOVNA PRIMERJAVA KRME IZ ŽUŽELK VS TRADICIONALNE KRME

### Cene in stroški

V naslednjem oddelku si bomo bolj podrobno ogledali finančni aspekt uporabe žuželk v prehrani živali in ugotovili, ali je ta v tem trenutku tudi ekonomsko upravičena alternativa klasični krmi.

Trenutni podatki v finančnih poročilih na evropskem trgu nakazujejo na visoko ceno moka iz žuželk na tono v primerjavi s klasičnimi viri beljakovin, kot sta sojina in ribja moka. V analizi trga iz leta 2025

Tabela 1: Primerjava hranilnih vrednosti moka iz žuželk, ribje moka in sojine moka

	Moka iz žuželk	Ribja moka	Sojina moka	Avtorji
<b>Beljakovine (% SS)</b>	- 40–77 % - Variabilno, odvisno od vrste in substrata	- 50–60 % - Zelo visoka in predvidljiva vsebnost	- Približno 46,20 % - Predvidljiva, a nižja kot moka iz žuželk in rib	1,2,6
<b>Maščobe (lipidi) (% SS)</b>	- 14–24 % - Visoka energetska gostota (ME 4,140 kcal/kg)	- Variabilna - Uravnotežen profil maščobnih kislin	- Približno 3,00 % - Nizka vsebnost maščob	1,2,6
<b>Aminokislinska sestava</b>	- Dobra in uravnotežena - Ustrezen profil esencialnih aminokislin - Lahko nadomesti sojino moko	- Popolna in uravnotežena - Referenčni standard (visok lizin in metionin)	- Biološko nepopolna - Nizka vsebnost določenih esencialnih aminokislin	2,7,8,9
<b>Prebavljivost</b>	- Zelo dobra - Surove beljakovine podobne beljakovinam sojine moka (76,0 %) - Maščobe višje od maščob v sojini moki (83,6 %)	- Zelo dobra - Surove beljakovine do 90 % - Odlična biološka razpoložljivost	- Visoka suha snov 77,2 % - Nizka prebavljivost maščob (73,0 %)	1,3,7
<b>Okusnost</b>	- Variabilna - Višje vključitve lahko povzročijo zmanjšan vnos krme	- Odlična, zagotavlja kvaliteten vnos krme	- Nizka - Vsebnost določenih antinutričnih dejavnikov	1,7,9
<b>Trajnost</b>	- Visoka, vendar je zanjo potrebna visoka avtomatizacija	- Nizka - Odvisnost od ulova divjih rib in izčrpanja naravnega habitata	- Nizka/srednja - Povezana z obsežno rabo zemljišč in krčenjem gozdov	4,5,10

LEGENDA: <sup>1</sup>Arini in sod. (2024); <sup>2</sup>Shah in sod. (2022); <sup>3</sup>Lupu in sod. (2023); <sup>4</sup>van Huis in sod. (2017); <sup>5</sup>Bingqian in sod. (2024); <sup>6</sup>Jayanegara in sod. (2023); <sup>7</sup>Adli in sod. (2021); <sup>8</sup>Rodríguez-Rodríguez in sod. (2024); <sup>9</sup>Macusi in sod. (2023); <sup>10</sup>Ghamkhar in sod. (2020).

je bila ocenjena vrednost pridelava moke iz žuželk med €2.500 in €5.000 na tono suhe snovi, medtem ko je bila ocena vrednosti ribje moke znatno nižja (€1.750). Takšna razlika izhaja predvsem iz začetnih stroškov, ki so potrebni za vzpostavitev visoko tehnoloških farm in nato nadaljnega ohranjanja mikrobiološkega okolja, ki omogoča najbolj optimalen proces vzreje žuželk (klimatizacija, sušenje, ventilacija).

Seveda moramo pa ob tem zadržati tudi misel, da je to razvijajoča se industrija, ki pričakuje znatne padce v stroških v bližnjih letih, kar bo posledično tudi privedlo do močnega upada cene na trgu krme za živali in povečalo konkurenčnost.

### DONOSNOST IN POVRAČILNA DOBA PROJEKTA

V tem delu bomo predstavili analizo donosnosti visoko avtomatizirane farme črne bojovniške muhe z zmogljivostjo 10.000 ton letno. Razlog, zakaj smo izbrali tako visoko število, leži v tem, ker je za doseganje stroškovne učinkovitosti nujno potrebno takšno skaliranje, saj je ta industrija močno vezana na koncept ekonomije obsega (večanje proizvodnje vodi v znaten upad stroškov). Tovarniške zmogljivosti te velikosti pa so bile že realizirane, na primer obrat Enorm Biofactory na Danskem, ki je leta 2024 zaključil gradnjo s približno €50 milijonov visoko investicijo (TEAP, 2023). Po nekaterih ocenah se proizvodni stroški zmanjšajo za približno €450/tono beljakovin vrste črne bojovniške muhe pri prehodu na velik obrat (Frontier Economics, 2023).

Tabela 2: Analiza začetnih investicij

	Konservativen (v mio €)	Realističen (v mio €)	Optimističen (v mio €)	Življenjska doba
Gradnja objekta	18,0	16,0	14,0	20 let
Avtomatizirana tehnologija	16,0	14,0	12,0	10 let
Energetski sistemi, klima in IT	6,0	5,0	4,5	10 let
Oprema za predelavo, procesiranje	5,0	5,0	4,5	10 let
<b>SKUPAJ</b>	<b>45,0</b>	<b>40,0</b>	<b>35,0</b>	

### Predpostavke

Opravili smo scenarijsko analizo, kjer smo ustvarili tri različne scenarije (konservativen, realističen in optimističen) za obdobje 10 letnega stabilnega poslovanja.

#### Izračun čistega dobička – predpostavke:

- **Davčna stopnja (T)** – glede davčne stopnje smo upoštevali povprečno zakonsko predpisano davčno stopnjo na območju Evropske unije – 21,77 % (Tax Foundation, 2024). V našem konkretnem modelu pa je uporabljena bolj konservativna stopnja – 20,0 %.

- **Financiranje** – predpostavili smo 50 % zadolženost celotne začetne investicije (EIB, 2016). Obrestne mere močno nihajo glede na tveganje. Večja kot je torej tveganost, večja je zahtevana stopnja obrestne mere (EBRD, b. d.).

- o Konservativen: 8,0 %
- o Realističen: 7,0 %
- o Optimističen: 6,0 %

#### Analiza začetnih investicij in amortizacije

Velika farma črne bojovniške muhe zahteva visoko začetno naložbo, ki se giblje med 30 in 50 milijonov EUR za našo predpostavljeno zahtevano zmogljivost (TEAP, 2023; Frontier Economics, 2023). To dejstvo izhaja predvsem iz naslova, potrebe po visoki avtomatizaciji in tesno nadzorovanih okoljih.

Podani scenariji predpostavljajo razdelitev investicije na dva dela: nepremičnine z življenjsko dobo 20 let in stroje oziroma opremo z življenjsko dobo 10 let.

### Amortizacija

Amortizacijo smo izračunali na način, kjer smo strošek sredstev delili z njihovimi življenjskimi dobami.

Tabela 3: Amortizacija

	Amortizacijska osnova (10 let) – v mio €	Amortizacijska osnova (20 let) – v mio €	Izračun letne amortizacije – v mio €	Letna amortizacija – v mio €
<b>Konservativen</b>	16,0 + 6,0 + 5,0 = 27,0	18,0	(27,0/10) + (18,0/20)	3,60
<b>Realističen</b>	14,0 + 5,0 + 5,0 = 24,0	16,0	(24,0/10) + (16,0/20)	3,20
<b>Optimističen</b>	12,0 + 4,5 + 4,5 = 21,0	14,0	(21,0/10) + (14,0/20)	2,80

### Operativni stroški

V tem sektorju so operativni stroški ključnega pomena, saj morajo biti čim nižji za doseganje konkurenčnosti. Ključni del OPEX v reji črne bojovniške muhe je energija, saj je za simuliranje optimalnega okolja za rast potreben velik energijski vložek. (Subnational Finance, 2023).

Razlika med višino OPEX-a v realističnem, optimističnem in konservativnem scenariju odraža uspešno vzpostavitev avtomatizacije in optimalno upravljanje z energetskimi viri (TEAP, 2023).

V naših izračunih v OPEX-u nismo upoštevali stroškov amortizacije.

Tabela 4: Operativni stroški

	Konservativen	Realističen	Optimističen
<b>OPEX/tono (€/tono)</b>	450	350	250
<b>Letna proizvodnja (v tonah)</b>	10.000	10.000	10.000
<b>SKUPNI OPEX (v mio €)</b>	4,50	3,50	2,50

### Prihodkovna analiza

Prihodki izhajajo iz dveh glavnih produktov: posušene posušene moke črne bojovniške muhe in stranskega produkta frassa. V našem modelu smo predpostavili, da se za vsako tono moke iz žuželk proizvede 600 kg frassa (SoldierFly, b. d.).

Cena moke črne bojovniške muhe na trgu zelo variira in ni točno določena, saj je močno odvisno od tega, kje se prodaja oziroma proizvaja, ter tudi, kakšen je končni trg (akvakultura, hrana za hišne živali, itd.) (Market Report Analytics, 2024; FreezeM, 2024).

Konservativen: cena znaša €580/tono – ker pri tej ceni strokovnjaki ocenjujejo, da bi bila krma iz žuželk sposobna zamenjati klasično sojino krmo (Frontier Economics, 2023).

Realističen in optimističen scenarij – predpostavka je uspešen predor v bolj premijske trge, kot je akvakultura ali pa hrana za hišne ljubljence, kjer so dosegljive cene €1.200/tono do €1.500/tono.

Cena frassa prav tako zelo močno variira, in sicer na intervalu od €20/tono (WUR, 2021) vse do €850/tono (WUR, 2021).

Tabela 5: Prihodkovna analiza

	Konservativen	Realističen	Optimističen
BSF moka (€/tono)	580	1.200	1.500
Frass (€/tono)	20	150	300
Prihodek BSF moka	5,80 mio EUR	12,00 mio EUR	15,00 mio EUR
Prihodek frass	0,12 mio EUR	0,90 mio EUR	1,80 mio EUR
<b>SKUPNI PRIHODEK</b>	<b>5,92 mio €</b>	<b>12,90 mio €</b>	<b>16,80 €</b>

Skozi to analizo je opazno, da je izjemnega pomena tudi cena prodanega frassa. Zato je ključnega pomena, da imamo poleg učinkovite proizvodnje tudi močno razvito strategijo trženja frassa z dodano vrednostjo.

## Izračun EBITDA, čistega dobička in letnih denarnih tokov

### EBITDA

Skozi ugotovljeno analiza je opazna zelo velika dodana vrednost v realističnem in optimističnem scenariju, kar izhaja iz dejstva visokih prihodkov in nizkih stroškov.

Tabela 6: EBITDA

	Prihodki (v mio €)	OPEX (v mio €)	EBITDA (v mio €)
Konservativen	5,92	4,50	<b>1,42</b>
Realističen	12,90	3,50	<b>9,40</b>
Optimističen	16,80	2,50	<b>14,30</b>

### Čisti dobiček

Da ugotovimo čisti dobiček, je potrebno upoštevati negotovinske stroške (amortizacija – DA), stroške financiranja (obresti – I), kakor tudi davke, ki smo jih ocenili na 20,0 % (T). Stroške obresti smo izračunali na podlagi 50 % zadolžitve celotne začetne investicije (tabela 1) in ustrezne obrestne mere.

Tabela 7: Čisti dobiček

	Konservativen (v mio €)	Realističen (v mio €)	Optimističen (v mio €)
<b>EBITDA</b>	<b>1,42</b>	<b>9,40</b>	<b>14,30</b>
- Amortizacija (DA)	-3,60	-3,20	-2,80
- Obresti (I)	-1,80	-1,40	-1,05
<b>= EBT</b>	<b>-3,98</b>	<b>4,80</b>	<b>10,45</b>
- Davki (T) – 20 %	0,00	-0,96	-2,09
<b>= Čisti dobiček</b>	<b>-3,98</b>	<b>3,84</b>	<b>8,36</b>

## Letni denarni tok

Pokaže nam, koliko dejanskega denarja podjetje ustvari v enem letu poslovanja.

Letni denarni tok izračunamo kot čisti dobiček + amortizacija. Amortizacija se odšteje pri izračunu dobička, vendar se pri denarnih tokovih prišteje nazaj, ker ne predstavlja dejanskega izplačila denarja.

Tabela 8: Letni denarni tok

	Čisti dobiček (v mio €)	Amortizacija (v mio €)	Letni denarni tok (v mio €)
Konservativen	-3,98	3,60	-0,38
Realističen	3,84	3,20	7,04
Optimističen	8,36	2,80	11,16

Skozi ta pregled letnega denarnega toka je opazno, da je konservativen scenarij nevzdržen in v daljši dobi vodi do insolventnosti.

## Merila donosnosti investicije

### Povračilna doba

Povračilna doba investicije je kazalnik, ki nam prikazuje, v koliko letih bomo poplačali našo začetno investicijo iz letnih denarnih tokov.

Uporablja se letni denarni tok in ne čisti dobiček, ker čisti dobiček ne vključuje amortizacije, s katero dejansko poplačujemo začetno investicijo.

$$\text{Povračilna doba} = \frac{\text{Začetna investicija}}{\text{Letni denarni tok}}$$

Tabela 9: Povračilna doba

	Začetna investicija (v mio €)	Letni denarni tok (v mio €)	Povračilna doba
Konservativen	45,0	-0,38	Povračilo ni mogoče
Realističen	40,0	7,04	5,68 let
Optimističen	35,0	11,16	3,14 let

Povračilna doba prav tako močno variira od danega scenarija. V realnem scenariju je povračilna doba enaka 5,68 let, kar spada v normalen pričakovani razpon dobe, ki jo omogočajo dolgoročni finančni instrumenti (EBRD, b. d.).

### Donosnost naložbe (ROI)

Donosnost naložbe predstavlja enega ključnih kazalnikov uspešnosti projekta. Prikazuje nam, kako se začetna investicija pretvori v finančni donos skozi čas. Izkazuje razmerje med vloženimi sredstvi in ustvarjenim dobičkom – preko njega ocenimo, ali je investicija ekonomsko upravičljiva ali ne.

Izračunamo ga po formuli:  $ROI = \frac{\text{Čisti dobiček}}{\text{Začetna investicija}}$

Tabela 10: ROI

	Čisti dobiček (v mio €)	Začetna investicija (v mio €)	ROI
Konservativen	-3,98	45,0	-8,84%
Realističen	3,84	40,0	9,60%
Optimističen	8,36	35,0	23,89%

V konservativnem scenariju projekt ustvarja izgubo v višini 3,98 milijona evrov, kar pojasni izračunano negativno donosnost (ROI = -8,84%). To kaže na visoko tveganje in neučinkovito uporabo kapitala.

V realističnem scenariju je čisti dobiček 3,84 milijona evrov in donosnost naložbe 9,60 %. Tak rezultat nakazuje na ekonomsko upravičeno in smiselno investicijo.

V optimističnem scenariju pa zaznamo dobiček v višini kar 8,36 milijona evrov in donosnost naložbe 23,89 %, kar nakazuje na zelo učinkovito izkoriščenost kapitala in uspešno realizacijo projekta.

### Zakaj so rezultati tako občutljivi?

Potreba po premijskih cenah – analiza kaže, da podjetje trenutno ne bi moglo uspešno poslovati, če bi moralo moko žuželk prodajati po enaki ceni kot sojino. Stroški proizvodnje so namreč v tej fazi še vedno previsoki, da bi lahko neposredno konkurirali tradicionalnim krmilom.

Cena frassa – frass predstavlja enega ključnih dejavnikov uspešnosti farme žuželk. Njegova tržna vrednost je močno odvisna od pristopa podjetja k trženju in prodaji. Z učinkovito strategijo je mogoče doseči premijske cene, kar pomembno vpliva na skupno donosnost poslovanja.

Vpliv fiksnih stroškov – pri načrtovanju projekta je bistveno, da se že vnaprej natančno določijo vsi fiksni stroški in da je infrastruktura zasnovana učinkovito. V nasprotnem primeru lahko že manjše zaplete ali zamude povzročijo občutno povečanje stroškov, kar močno vpliva na finančno vzdržnost celotne naložbe.

### EKONOMSKI VPLIV NA VETERINARSKO PRAKSO IN GOSPODARSTVO

Sedaj si bomo še pogledali, kakšen vpliv bi imel prehod na uporabo krme iz žuželk kot del standardne prakse na veterinarski sektor.

### Pozitivni vplivi

#### Potencial za manjšo pojavnost bolezni in boljše zdravje živali

Raziskave so pokazale, da žuželke nimajo imunskega sistema, kot ga poznamo pri sesalcih. Namesto tega jih pred virusi, bakterijami in drugimi patogeni ščitijo antimikrobni peptidi, ki delujejo kot naravni obrambni mehanizem. Ob vključitvi moke iz žuželk v krmo živali se ti peptidi lahko prenesejo v prehransko verigo, kar lahko prispeva k okreelitvi imunskega sistema živali ali zmanjšanju prisotnosti patogenov v njihovem organizmu (Patyra in Kwiatek, 2023).

Poleg tega uravnovežena prehrana, ki jo omogoča uporaba beljakovin iz žuželk, zmanjšuje pojavnost bolezni in smrtnosti živali, kar posledično vodi do nižjih stroškov zdravljenja, manjšega števila veterinarskih posegov ter manjših izgub v živinorejski proizvodnji (Patyra in Kwiatek, 2023).

#### Večji donos

Z izboljšano krmo, ki omogoča večjo izrabo hranil, se poveča tudi izkoristek – tako lahko pridobimo več kilogramov mesa pri enakih ali celo manjših vložkih.

### Industrijski razvoj in spodbuja inovacij

Industrija reje žuželk odpira številne priložnosti za prihodnost, saj bo njen razvoj ustvaril veliko novih delovnih mest, pri čemer bo potreben tako visoko, kot tudi manj izobražen kader. Poleg tega lahko pričakujemo tudi razvoj številnih novih tehnologij ne samo na področju veterinarske stroke, ampak tudi na področju farmacije, kozmetike, medicine in še mnogo več.

### TRŽNI IN INVESTICIJSKI POTENCIAL

#### Globalni in evropski trg krme iz žuželk

Vedno večje povpraševanje po beljakovinah in mesnih produktov poganja rast tega trga. Poleg tega vse večja ozaveščenost ljudi o potrebi po varovanju okolja odpira nove priložnosti za rast trga zaradi naraščajočega povpraševanja po tovrstnih izdelkih in zanimanja za vlaganje v takšne projekte. To je omogočilo številne nove priložnosti tako z vidika financiranja raziskovalno-razvojnih projektov, kot tudi širjenja proizvodnje na večje obrate. Leta 2023 je bila velikost trga beljakovin, pridobljenih iz žuželk, ocenjena na 483,1 milijona USD, projekcija do leta 2030 pa znaša na 1,51 milijarde USD, kar prikazuje CAGR (ang. Compound annual growth rate) 16,9 %.

Faza rasti trga je visoka, hitrost rasti trga pa se vsako leto dodatno pospešuje. Tehnološki napredek in inovacije so ključni za nadaljnji razvoj trga, saj izboljšujejo učinkovitost proizvodnje, kakovost izdelkov ter reducirajo višino stroškov.

### ZAKONODAJNI OKVIR

Zaradi povečanega interesa za trajnostne vire beljakovin je bila septembra 2021 sprejeta Uredba (EU) 2021/1372, ki državam članicam omogoča uporabo predelanih živalskih beljakovin iz gojenih žuželk kot krme za ribe, perutnino in prašiče, v skladu z Uredbo (ES) 1069/2009. Ta sprememba nadgrajuje Uredbo (EU) 2017/893, s katero je bila leta 2017 prvič odobrena uporaba beljakovin žuželk v krmi za akvakulturo (Lambert in Cornish, 2023).

V Evropski uniji so za človeško prehrano trenutno odobrene štiri vrste žuželk: *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria*, *Acheta domesticus* in *Alphitobius diaperinus*. Za krmo v akvakulturi, perutninarstvu in

prašičereji pa so dovoljene naslednje vrste: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Bombyx mori*, *Acheta domesticus*, *Gryllus campestris* in *Gryllodes sigillatus* (Lambert in Cornish, 2023).

Proizvajalci žuželk so v skladu z evropsko zakonodajo opredeljeni kot primarni proizvajalci, zato zanje veljajo enaki standardi varnosti hrane in higiene kot za druge subjekte v živilski in krmni industriji (IPIFF, 2022). Vzrejene žuželke so skladno z zakonodajo o stranskih živalskih proizvodih klasificirane kot rejne živali (Uredba (ES) 1069/2009; Uredba (EU) 142/2011), kar pomeni, da morajo proizvajalci spoštovati enake omejitve glede dovoljenih vrst krme kot pri tradicionalnih rejnih živalih ne glede na končni namen proizvodnje (prehrana, krma ali biogoriva) (Lambert in Cornish, 2023).

### Ureditev krmnih surovin in prehranskih substratov

Uredba (EU) 68/2013 določa seznam krmnih materialov, ki se običajno uporabljajo v EU, pri čemer seznam ni izčrpen in je dopolnjen z dodatnimi omejitvami. Poleg navedene uredbe prehrano in krmne substrate za žuželke urejajo še naslednji ključni predpisi:

- Uredba (ES) št. 396/2005 – določa najvišje mejne vrednosti ostankov pesticidov v krmnih materialih,
- Uredba (EU) 2019/6 – ureja dodajanje veterinarskih zdravil preko krme ali vode,
- Uredba (EU) 2019/4 – določa pogoje za proizvodnjo, trženje in uporabo krme z zdravili,
- Direktiva 2002/32/ES – omejuje vsebnost nezaželenih snovi v krmnih izdelkih (Lambert in Cornish, 2023).

Krmni substrati morajo biti varni, higiensko neoporečni in primerni za uporabo, kar vključuje ustrezno obdelavo odpadnih tokov z namenom odstranitve potencialno nevarnih snovi ter nadzor nad vsebnostjo pesticidov, ki ne sme presegati dovoljenih mejnih vrednosti (Lambert in Cornish, 2023).

### Dobrobit in higienski standardi

Pri gojenju žuželk je pomembno upoštevati tudi vedenjske in fiziološke značilnosti posameznih vrst, saj neustrezni rejni pogoji lahko negativno vplivajo na njihovo dobrobit. Posebno pozornost je treba nameniti postopku odvzema krme pred zakolom,



Veliki mokaar (Fotografija: Elizabeta Dobrodel)

saj so raziskave pokazale, da lahko dolgotrajno stradanje (npr. 24 ur) pri nekaterih vrstah povzroči kanibalizem, kar predstavlja resno etično in higiensko tveganje (Lambert in Cornish, 2023).

Učinkovito upravljanje proizvodnje žuželk zahteva vzpostavitev celovitih sistemov nadzora kakovosti in sledljivosti, vključno z izvajanjem dobrih higienskih praks, protokolov HACCP in biovarnostnih ukrepov. Proizvodni obrati morajo biti zasnovani tako, da omogočajo enostavno čiščenje in razkuževanje, imeti jasno razmejene čiste in nečiste cone, ustrezno prezračevanje z zračnimi filtri ter učinkovite programe razkuževanja in odstranjevanja odpadkov. Skladnost z veljavno zakonodajo je bistvena za zagotavljanje varnosti hrane, zaščite okolja in dobrobiti živali (Lambert in Cornish, 2023).

## ZAKLJUČEK

Naraščajoče globalno povpraševanje po beljakovinah in omejitve tradicionalnih virov, kot so meso, ribe in soja, usmerjajo razvoj v trajnostne alternative. Žuželke se v tem kontekstu izkazujejo kot učinkovit vir beljakovin, saj za svojo pridelavo potrebujejo manj naravnih virov in ustvarjajo nižje emisije toplogrednih plinov. Poleg tega omogočajo krožno rabo odpadkov ter pomembno prispevajo k zmanjšanju okoljskega odtisa prehranske verige.

Raziskave potrjujejo, da vključitev beljakovin žuželk v prehrano živali ne vpliva negativno na rast ali zdravje, temveč pogosto izboljša prebavljivost in imunski odziv. Posebej v prehrani hišnih ljubljencev se žuželke vse bolj uveljavljajo kot monoproteinski, hranilno bogat in okolju prijazen vir beljakovin. Industrija krme iz žuželk se trenutno

sooča z visokimi vstopnimi in operativnimi stroški, kar omejuje njeno konkurenčnost. Vendar pa razvoj naprednejših tehnologij, avtomatizacija in povečanje proizvodnega obsega postopno znižujejo stroške ter odpirajo pot širši tržni dostopnosti. Trg krme iz žuželk je v prehodni fazi, kjer se pilotni projekti spreminjajo v večje industrijske obrate. Narašča zanimanje vlagateljev, ki prepoznajo potencial sektorja, okrepljeno pa je tudi sodelovanje z večjimi korporacijami in skladnost z načeli trajnostnega investiranja. Kljub tem spodbudnim trendom industrija ostaja izpostavljena več izzivom, kot so omejeno povpraševanje, zakonodajne omejitve, finančna ranljivost podjetij ter zadržan odnos potrošnikov do uporabe žuželk v prehrani. Ob upoštevanju vseh teh dejavnikov je mogoče sklepati, da ima industrija žuželk za hrano in krmo izjemen razvojni potencial. Nadaljnji tehnološki napredek, usmerjene raziskave in povečana ozaveščenost potrošnikov bodo omogočili njen stabilen razvoj ter prispevali k trajnostni preobrazbi prehranskih sistemov in dolgoročni prehranski varnosti.

## LITERATURA

1. Abro Z., Macharia I., Mulungu K., Subramanian S., Tanga C. M., Kassie M. The potential economic benefits of insect-based feed in Uganda. *Front Insect Sci* 2022; 2:968042. doi: 10.3389/fin-sc.2022.968042
2. Ahmed I., Inal F., Riaz R. Insects usage in pets food. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi* 2021; 93. doi: 10.33188/vetheder.909963
3. Arini R., Setiadi A. H., Rifa'i M. A. Evaluation of the nutritional composition of fish meals produced in Indonesia. *Int J Agric Environ Anim Sci* 2024; 11(4):184–192. doi: 10.14445/23942568/IJAES-V11I4P106
4. Barrett M., Fischer B. Challenges in farmed insect welfare: Beyond the question of sentience. *Anim Welf* 2023; 32:e4. doi: 10.1017/awf.2022.5
5. Biasato I., Ferrocino I., Colombino E. et al. Effects of dietary *Hermetia illucens* meal inclusion on cecal microbiota and small intestinal mucin dynamics and infiltration with immune cells of weaned piglets. *J Anim Sci Biotechnol* 2020; 11:64. doi: 10.1186/s40104-020-00466-x
6. Biasato I., Renna M., Gai F. et al. Partially defatted black soldier fly larva meal inclusion in piglet diets: effects on growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. *J Anim Sci Biotechnol* 2019; 10:12. doi: 10.1186/s40104-019-0325-x

Ostale vire je mogoče pridobiti pri avtorju.



Fotografije: Anja Rebec



# IVSA SLOVENIA IN NADALJEVANJE TRADICIJE

Avtorica: Pika Balažič, predsednica IVSA Slovenia

Študentska organizacija IVSA Slovenia (Mednarodno združenje študentov veterinarstva Slovenije) je prejšnje študijsko leto začela z menjavo vodstva. Na častno mesto alfa trojice smo se zavihteli predsednica Pika Balažič, podpredsednica Karin Fortuna in vodja izmenjav Andrej Dulai. Oboroženi z napotki predhodnikov, zagonom naslednikov in podporo vseh ostalih članov smo zagrizli v novo študijsko leto in z njim vse lokalne in mednarodne projekte, ki še pridejo v paketu. Že na začetku smo si prisegli, da bomo ohranjali tradicijo prejšnjih generacij, obenem pa pustili svoj žig.

Najprej smo se lotili organizacije tradicionalnega IVSA tabora v Kranjski Gori, kjer smo v svojo sredo sprejeli sveže pečene bruce. Čez leto smo izvedli kopico lokalnih dogodkov, s katerimi smo poskrbeli za mentalno dobrobit študentov, ozaveščali o dobrobiti živali in nadgrajevali svoje znanje v prvem tednu izobraževanja. Naš cilj je preprost: poskrbeti,

da je študentsko življenje bolj zabavno in sproščeno, manj stresno, predvsem pa polno topline in prijateljstev, ki preživijo tudi vse izpitne roke.

Glavni namen društva je mednarodno povezovanje, ki ga v prvi vrsti prakticiramo z enotedenskimi izmenjavami. Lani smo jeseni mahnilo v Berlin, spomladi pa v Burso v Turčiji. V okviru globalne IVSA smo se udeležili simpozija v Maroku in evropskega simpozija v Wroclawu na Poljskem.

In kako naprej? Po starem receptu; korak za korakom, dogodek za dogodkom in še eno leto je mimo, za nami pa kup uspešno izpeljanih projektov.

Letos nas čakata izmenjavi z IVSA na Danskem in Poljskem. Ko gostimo tuje študente, želimo pokazati našo majhno državico in študentsko skupnost s kulturnimi, izobraževalnimi in zabavnimi aktivnostmi. Opažamo sicer, da smo Slovenci v primerjavi z drugimi narodi nadpovprečno lačni in podpovprečno leni, saj nas med hojo nihče ne dohiti. V globalni IVSA je januarja na sporedu simpozij v Gani, avgusta pa kongres v Nepal. Evropska IVSA bo spomladi organizirala regionalni simpozij v Latviji. Še vedno sodelujemo s SVSP, ki na svoje odprave sterilizacij in kastracij živali po Balkanu z veseljem povabijo tudi veterinarske študente.

Stara in nova vodstvena trojica



izmenjava v Bursi, Turčija



Izlet v Bohinj med izmenjavo s študenti iz Burse

Na tem mestu vas toplo vabim, da se nam pridružite pri vseh lokalnih in mednarodnih projektih. Upam si trditi, da večina študentov veterine z leti spozna, kako hitro mine teh (sprva neskončnih) šest let. Želim si, da jih napolnimo z doživljenjskimi poznanstvi, nepozabnimi izkušnjami in zgodbami, ki jih bomo z navdušenjem pripovedovali še čez vrsto let. Kot predsednici mi je v čast, da lahko prav IVSA pri tem igra tako pomembno vlogo.

Za več informacij o našem delovanju in dogodkih nas spremljajte na Instagramu, Facebooku ali pa katera od nas preprosto pocukajte za roka. Se vidimo!

Ekipa IVSA Slovenia



Evropski simpozij v Wroclawu na Poljskem

Globalni IVSA simpozij v Maroku



Ilustraciji: Kaja Novković



# V-SKIN

Dermatološka linija

KO VSAK KOŠČEK NAJDE SVOJE MESTO



zastopa in  
prodaja



**Animalis, prehrana in  
zdravje živali, d.o.o.**

Tržaška cesta 135  
1000 Ljubljana

t. 01 242 55 30

f. 01 292 65 31

info@animalis.si

www.animalis.si

veterinarji.animalis.si

Nova dermatološka linija **LIVISTO**  
za najpogostejše kožne težave psov  
in mačk. Že na voljo!

**v-skin.pet**

