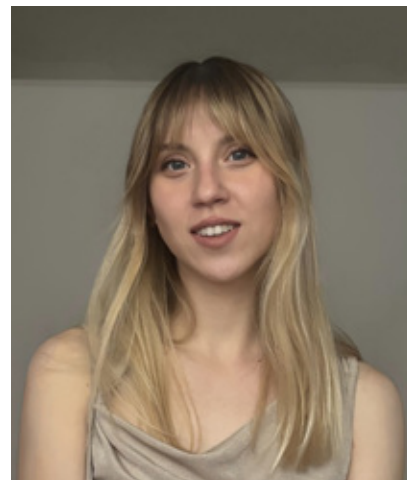


Mikobakterioza u morskom akvariju – riblja tuberkuloza sa zoonotskim potencijalom

Mycobacteriosis in a Marine Aquarium – Fish Tuberculosis with Zoonotic Potential

H. Glumpak¹, K. Matanović^{2*}



Slika autorice: Helena Glumpak

Napomena

Ovaj rad izrađen je na temelju diplomskog rada pod naslovom „Zarazne i nametničke bolesti morskih riba držanih u akvariju“, obranjenog 4. veljače 2025. godine u Zavodu za biologiju i patologiju riba i pčela na Veterinarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Sažetak

Mikobakterioza je zarazna bolest brojnih vrsta slatkovodnih i morskih riba uzrokovana acidorezistentnim bakterijama iz roda *Mycobacterium*, prvenstveno vrstama *M. marinum*, *M. fortuitum* i *M. chelonae*. Uzročnici su široko rasprostranjeni u vodenom okolišu i sedimentu, otporni na fizikalno-kemijske čimbenike te urođeno rezistentni na brojne antibiotike. Patogeneza mikobakterioze temelji se na preživljavanju mikobakterija unutar makrofaga, što rezultira stvaranjem karakterističnih granulomatoznih upalnih procesa, najčešće u parenhimskim organima poput slezene, jetre i bubrega. Bolest se obično pojavljuje u kroničnom obliku, simptomi nisu specifični, dok su kliconoše ključni za širenje infekcije trgovinom akvarijskih riba. Dijagnostika se oslanja na kliničku sliku, histopatološki nalaz granuloma i dokaz acidorezistentnih uzročnika Ziehl-Neelsenovim bojenjem. S obzirom na to da je liječenje riba u pravilu neuspješno, a primjena antituberkuloznih lijekova etički upitna zbog rizika od razvoja rezistencije u ljudi, preporučuju se radikalne mjere eutanazije zaraženih jedinki i temeljita dezinfekcija akvarijskog sustava. Posebnu važnost bolesti daje njezin zoonotski potencijal, s obzirom na to da izravan kontakt s kontaminiranim predmetima i vodom u ljudi može uzrokovati bolest sa specifičnim kožnim promjenama poznatima i kao „akvarijski granulomi“.

Ključne riječi: mikobakterioza, *Mycobacterium* spp., granulomatozna upala, akvarijske ribe, zoonoza

Uvod

Morska akvaristika sve je popularniji oblik držanja kućnih ljubimaca i u stalnom je porastu. Razlog je tomu sve veća dostupnost opreme i pribora za morske akvarije te lakša i brža razmjena znanja putem elektroničke komunikacije. Usporedno s porastom popularnosti držanja morskih riba u akvariju

sve veću važnost dobiva i briga o njihovom zdravlju te se pojavljuje potreba za edukacijom veterinarima i u ovom specifičnom području. U akvaristici se pojavljuju iste bolesti kao i kod riba u prirodnim staništima, no njihova je pojavnost drugačija zbog specifičnih uvjeta držanja (BASSLEER, 2004.; FIORAVANTI i FLORIO, 2017.). Poseban izazov za liječenje jesu zarazne i nametničke bolesti čiji se uzročnici

¹Helena Glumpak, dr. med. vet., Specijalistička veterinarska praksa Bojanić, Zagreb

^{2*}Dopisni autor: izv. prof. dr. sc. Krešimir Matanović, Zavod za biologiju i patologiju riba i pčela, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Heinzelova 55, 10000 Zagreb, e-adresa: kresimir.matanovic@vef.unizg.hr

moгу unijeti u akvarij putem riba, drugih akvatičnih organizama, predmetima i hranom. Među njima treba izdvojiti mikobakteriozu koja, osim što ugrožava zdravlje akvarijskih riba, donosi i znatan rizik za ljude koji s njima dolaze u dodir. Cilj je ovoga rada objediniti dosadašnje spoznaje o mikobakteriozi radi zaštite zdravlja i dobrobiti riba držanih u morskom akvariju.

Mikobakterioza, poznata i pod nazivom riblja tuberkuloza, kronična je zarazna bolest slatkovodnih i morskih riba uzrokovana bakterijama iz roda *Mycobacterium*, posebice vrstama *M. marinum*, *M. fortuitum* i *M. chelonae*. Klinički se očituje nastankom sivobijelih čvorića (granulomi) u koži i unutarnjim organima (FIJAN, 2006.), najčešće u slezeni, jetri i bubrezima (FIORAVANTI i FLORIO, 2017.). Povijesno gledano, mikobakterioza riba prvi je put opisana u šarana (*Cyprinus carpio*) na području Francuske (BATAILLON i sur., 1897.). Kada je riječ o morskim vrstama, prvi nalaz zabilježio je ALEXANDER (1913.) u bakalara (*Gadus callarias*) iz ulova. ARONSON (1926.) je prvi opisao mikobakteriozu u morskih riba držanih u akvariju. Do danas je zabilježena u više od 200 vrsta morskih i slatkovodnih riba (CHONG, 2022.). Zbog zoonotskog potencijala ovoj bolesti akvarijskih riba treba posvetiti posebnu pozornost.

Etiologija

Uzročnici mikobakterioze riba jesu acidorezistentne, pleomorfne bakterije veličine 0,2 – 0,6 x 1,5 – 3,0 µm. Opisani su i nitasti oblici do 10 µm duljine (LEWIS i CHINABUT, 2011.). Ove bakterije ne posjeduju kapsulu, nisu pokretljive i nemaju sposobnost stvaranja spora (NAGLIĆ i sur., 2005.). Karakteristično svojstvo acidorezistencije proizlazi iz visokog udjela lipida u staničnoj stijenci, što osigurava iznimnu otpornost na fizikalno-kemijske čimbenike okoliša i omogućuje dugotrajno preživljavanje u nepovoljnim uvjetima. Navedena svojstva uvjetuju i urođenu rezistenciju mikobakterija na brojne antibiotike te pojačanu virulenciju, zbog čega su infekcije mikobakterijama iznimno zahtjevne za liječenje i suzbijanje (NAGLIĆ i sur., 2005.; GAUTHIER i RHODES, 2009.). Za laboratorijski uzgoj uglavnom zahtijevaju posebne hranjive podloge, a prema brzini rasta dijelimo ih na spororastuće i brzorastuće vrste (LEWIS i CHINABUT, 2011.). Najmanje šest vrsta mikobak-

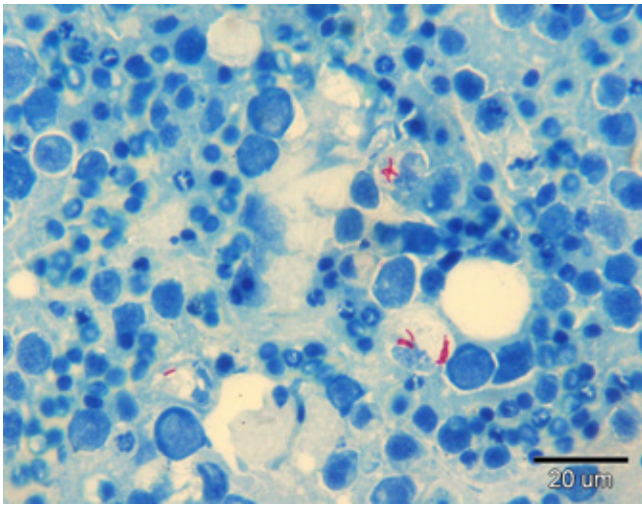
terija dovodi se u vezu s nastankom mikobakterioze riba: *M. marinum*, *M. fortuitum*, *M. chelonae*, *M. neoaurum*, *M. simiae* i *M. scrofulaceum*. Od navedenih, u praksi su najčešće vrste *M. marinum* i *M. fortuitum* (LEWIS i CHINABUT, 2011.).

Izvori infekcije i patogeneza

Uzročnici mikobakterioze sastavni su dio mikroflore vodenog okoliša i sedimenta. Premda se bolest u pogodovnim uvjetima može pojaviti i u potpuno zdravih jedinki, češće obolijevaju ribe s oslabljenim imunim odgovorom i one izložene stresu (GAUTHIER i RHODES, 2009.). Nastanku i razvoju bolesti pogoduju nepovoljni uvjeti držanja u akvariju.

Trgovina akvarijskim ribama znatno pridonosi širenju mikobakterioze jer su mnoge jedinke bez klinički vidljivih znakova bolesti, što potvrđuju i brojna znanstvena istraživanja. Tako su PUK i GUZ (2020.) utvrdili prisutnost mikobakterija u 50,1 % slatkovodnih akvarijskih riba u Poljskoj, dok su ranija istraživanja u Sloveniji pokazala infekciju u čak 82,9 % slučajeva (PATE i sur., 2005.). Slična je situacija i s morskim vrstama akvarijskih riba u Italiji, gdje su mikobakterije nađene u 34 % pojedinačnih i 25 % skupnih uzoraka, unatoč izostanku vidljivih simptoma u većine jedinki (ZANONI i sur., 2008.). Ovako visoke stope infekcije upućuju na ozbiljan rizik za zdravlje akvarijskih riba, ali i na opasnost od prijenosa na ljude.

Iako patogeneza riblje mikobakterioze još nije u potpunosti razjašnjena, prevladava mišljenje da je primarni put ulaska uzročnika probavni sustav (HARRIFF i sur., 2007.), premda se kao potencijalna ulazna mjesta navode i škrge te oštećena koža (LEWIS i CHINABUT, 2011.). Prijenos okomitim putem također je vjerojatan (FIJAN, 2006.). Glavni rezervoar ovih bakterija jest vodeni okoliš (AUSTIN i AUSTIN, 2016.), dok se glavnim izvorom infekcije smatraju zaražene ribe i njihove lešine (HARRIFF i sur., 2007.; JACOBS i sur., 2009.). U akvaristici presudnu ulogu u širenju bolesti imaju kliconoše (ZANONI i sur., 2008.). S obzirom na to da su mikobakterije intracelularni organizmi, one se primarno razmnožavaju unutar fagocita (GAUTHIER i RHODES, 2009.). Mehanizam preživljavanja temelji se na sprečavanju stapanja fagosoma s lizosomom (BARKER i sur., 1998.), čime bakterije izbjegavaju imunim odgovorom domaćina



Slika 1. Mikobakterije unutar makrofaga, otisak bubrega. Ziehl-Neelsenovo bojenje. (Autor: K. Matanović).

unutar makrofaga (NOGA, 2010.). Posljedično, nakupljanje makrofaga (slika 1) u tkivima dovodi do stvaranja karakterističnih granuloma (slike 2.a i 2.c), najčešće u jetri, slezeni, bubrezima, koži i mišićima (GAUTHIER i RHODES, 2009.).

Klinička slika

Mikobakterioza riba pojavljuje se u akutnom ili kroničnom obliku, pri čemu je akutni oblik rijedak i očituje se brzim razvojem bolesti te visokim mortalitetom, uz slabo izražene kliničke znakove. Nasuprot tome, bolest je obično kronična i progresivne naravi te može proteći niz godina do pojave prvih vidljivih simptoma (DECOSTERE i sur., 2004.). Kao sistemska bolest, može zahvatiti gotovo sve organe, iako su promjene najučestalije na slezeni, bubrezima i jetri (AUBRY i sur., 2017.; GJURČEVIĆ i sur., 2020.). Rani stadiji bolesti često ostaju neprepoznati zbog nespecifičnih znakova, poput bezvoljnosti, gubitka tjelesne mase i slabijeg apetita (NOGA, 2010.). S vremenom dolazi do promjena u ponašanju, jedinke se izdvajaju iz plova, dok se na koži mogu uočiti sivi, nepravilni čirevi uz oštećenja peraja (slika 2.b). Uz otežano održavanje položaja u vodi (SNIESZKO, 1978.), pojavljuju se i promjene u pigmentaciji (DECOSTERE i sur., 2004.). Ponekad se može uočiti jednostrani ili obostrani egzoftalmus. Granulomatозна upala može zahvatiti i kralježnicu te uzrokovati deformacije ili kržljivost. Takve jedinke teže preživljavaju u prirodnim uvjetima jer su lakši plijen grabežljivaca. Iako se granulomi mogu razviti u svim tkivima, najčešće su smješteni u slezeni, jetri i bubrezima (FIORAVANTI i FLORIO, 2017.).

Naposljetku, zahvaćenost škrge uzrokuje otežano disanje, dok teške infekcije dovode do zatajenja organa i uginuća (DECOSTERE i sur., 2004.; GAUTHIER i RHODES, 2009.).

Dok je mikobakterioza slatkovodnih riba detaljno istražena, podaci o pojavi u morskih vrsta držanih u akvariju su oskudni. GIAVENNI i suradnici (1980.) zabilježili su infekciju vrstom *M. marinum* u akvarijskih morskih riba podrijetlom iz 17 rodova i sedam porodica, istaknuvši porodicu Pomacentridae kao izrazito prijemljivu. Visoka učestalost bolesti bilježi se i u riba iz porodice Syngnathidae (MONTERO i sur., 2022.), u kojih se nerijetko razvija sistemska granulomatозна infekcija (FIORAVANTI i FLORIO, 2017.). Ova porodica obuhvaća i danas vrlo popularne morske konjiće (*Hippocampus* spp.), u kojih je opisana i nova vrsta mikobakterija nazvana *M. hippocampi*. Klinička slika u oboljelih konjića uključuje bezvoljno ponašanje, anoreksiju, bijele točkaste promjene na koži te nekrozu repne peraje (BALCÁZAR i sur., 2011.; BALCÁZAR i sur., 2014.). Kod morskih konjića *Hippocampus erectus* inficiranih bakterijom *M. chelonae* uočeni su poremećaji u plivanju, promjene pigmentacije, povećana jetra i bubrezi uz prisutnost brojnih bijelih čvorića u parenhimskim organima te kumulativni mortalitet od 15 do 20 % tijekom 30 dana (BAI i sur., 2023.). Spomenuta vrsta mikobakterija izdvojena je i iz akvarijski držanih šaruna *Trachurus trachurus* uz pojavu crnih ili bijelih čvorića u unutarnjim organima, trbušnom masnom tkivu i donjoj čeljusti te popratne ulceracije rožnice. Primarno su bili zahvaćeni bubrezi i slezena, a uz vrstu *M. chelonae* izdvojene su te sekvenciranjem ciljnih gena identificirane i druge vrste mikobakterija poput *M. marinum*, *M. fortuitum*, *M. porcinum*, *M. neworleansense*, *M. ulcerans*, *M. montefiorensense* i *M. parascrofulaceum* (ORTEGA i sur., 2014.).

Mikobakterioza je opisana i kod akvarijski držanih hrskavičnjača. Primjerice, kod tropske vrste morskog psa *Hemiscyllium ocellatum* izdvojena je bakterija *M. avium*, uz pojavu čvorića na ustima, vanjskim spolnim organima i slezeni (JANSE i KIK, 2012.). Kod ribe gitare *Rhinobatos lentiginosus* (red pilašica) mikobakterioza se očitovala pojavom granuloma u slezeni (ANDERSON i sur., 2012.), dok su kod vrste *Urobatis jamaicensis* (red golubovki) granulomi bili ograničeni na područje spirakuluma, bez zahvaćanja unutarnjih organa (CLARKE i sur., 2013.). U oba navedena slučaja potvrđen je uzročnik *M. chelonae*.

Dijagnostika

Rano prepoznavanje mikobakterioze otežano je zbog nespecifične kliničke slike, što izravno povećava rizik od nekontroliranog širenja bolesti unutar akvarija (DECOSTERE i sur., 2004.). Dijagnostički postupak najčešće obuhvaća klinički pregled, mikroskopiranje nativnih ili obojenih preparata te histopatološku i bakteriološku pretragu. Sumnja se postavlja na osnovi nalaza karakterističnih čvorića tijekom razudbe ili mikroskopskim pregledom nativnih preparata iz zahvaćenih organa (slika 2.c), dok se konačna potvrda dobiva nalazom acidorezistentnih bakterija u otiscima (slika 2.d) ili razmazima tkiva obojenim prema Ziehl-Neelsenu (PAĐEN, 2019.). Ova metoda nudi prednost brzog dokaza uzročnika, čak i uz prisutnost sekundarnih uzročnika, čime se izbjegava potreba za dugotrajnim uzgojem na posebnim hranjivim podlogama.

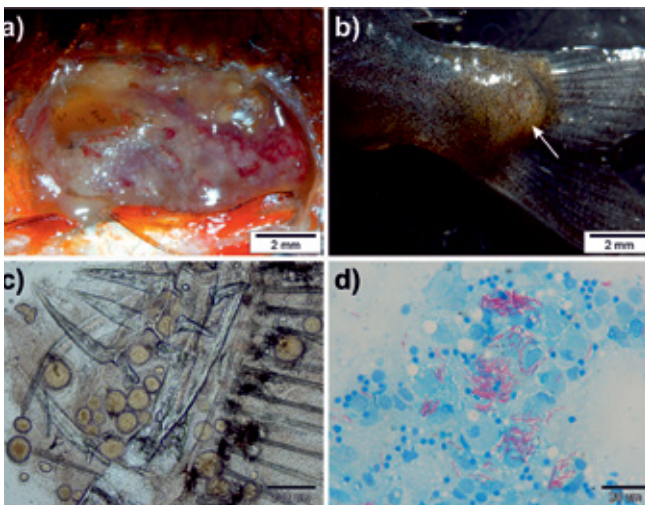
Histopatološki nalaz mikobakterioze obilježava prisutnost granuloma (slika 3) u zahvaćenim organima (GAUTHIER i RHODES, 2009.), unutar kojih je primjenom Ziehl-Neelsenova bojenja moguće identificirati acidorezistentne bakterije (LEWIS i

no makrofagima i epiteloidnim stanicama, uz moguću prisutnost mineralizacije i multinuklearnih divovskih stanica. Na periferiji se najčešće formira vezivno-tkivna kapsula (LEWIS i CHINABUT, 2011.), premda u određenim slučajevima ona može u potpunosti izostati (GJURČEVIĆ i sur., 2020.).

Mikobakterije se mogu potvrditi izdvajanjem na Löwenstein-Jensenovu agaru, no takav je uzgoj dugotrajan i može potrajati tjednima (NOGA, 2010.). Nasuprot tome, primjena lančane reakcije polimerazom omogućuje znatno bržu i precizniju identifikaciju specifičnih vrsta mikobakterija u uzorcima (RHODES i sur., 2004.).

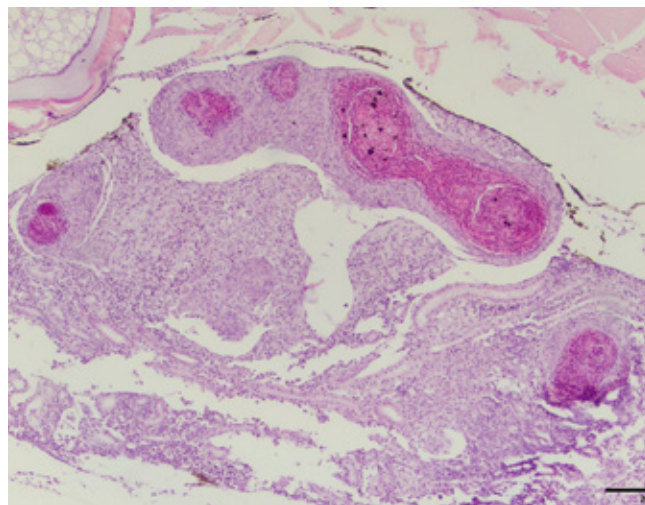
Liječenje i profilaksa

Liječenje mikobakterioze kod akvarijskih riba u pravilu je neuspješno (FIJAN, 2006.; ROBERTS, 2012.), primarno zbog zaštitne uloge granuloma i prirodne rezistencije uzročnika na brojne antibiotike, uključujući i one namijenjene humanoj tuberkulozi (GAUTHIER i RHODES, 2017.). Zbog kronične naravi bolesti i mehanizama izbjegavanja imunskog odgovora, liječenje najčešće samo usporava tijekom



Slika 2. Mikobakterioza u akvarijskih riba. a) Brojni sivobijeli čvorići u unutarnjim organima i masnom tkivu tjelesne šupljine. b) Uzdignuće kože s plitkim čirom i naslagama sivkastobijele boje u području repnog stabla. c) Granulomi različite veličine u nativnom preparatu škrga. d) Acidorezistentne bakterije u otisku promijenjenog dijela kože sa Slike 2b. Ziehl-Neelsenovo bojenje. (Autor: K. Matanović).

CHINABUT, 2011.; GJURČEVIĆ i sur., 2020.). Iako su pojedinačni granulomi obično veličine do 500 µm (SAKANARI i sur., 1983.), ponekad dolazi i do njihova spajanja (GJURČEVIĆ i sur., 2020.). Strukturno se u središtu granuloma nalazi nekrotično tkivo okruženo



Slika 3. Histološki prikaz granuloma u bubregu. Hematoksilin-eozin. (Autor: K. Matanović).

bolesti (DECOSTERE i sur., 2004.; NOGA, 2010.). Iako se antibiotici poput rifampicina, klaritromicina i doksiciklina mogu primjenjivati, uspjeh liječenja je ograničen (GAUTHIER i RHODES, 2009.). Osim toga, upitna je etičnost primjene lijekova koji su od ključne važnosti za liječenje ljudi (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019.), osobito u kontekstu rastuće globalne rezistencije (DOOKIE i sur., 2018.). S ob-

zirom na nepoznatu farmakokinetiku antituberkuloznih lijekova u riba (GAUTHIER i RHODES, 2009.) i načela opravdane i razumne primjene lijekova u veterinarskoj medicini (ŠEOL i sur., 2010.), liječenje se ne preporučuje. Umjesto toga, radi sprečavanja širenja bolesti i zaštite ljudi, nužna je eutanazija i neškodljivo uklanjanje lešina, biljaka i akvarijske opreme koju nije moguće dezinficirati (FIJAN, 2006.; NOGA, 2010.). Cijeli akvarijski sustav i pribor potrebno je temeljito sterilizirati ili dezinficirati (ROBERTS, 2012.).

Prevenција se temelji na nabavi riba iz provjerenih uzgoja i obveznoj karanteni (LEWIS i CHINABUT, 2011.). Pri dezinfekciji prednost treba dati formalinu, fenolnim spojevima ili etanolu, dok natrijev-hipoklorit zbog slabe djelotvornosti valja izbjegavati (NOGA, 2010.; LEWIS i CHINABUT, 2011.). Iako komercijalno dostupna cjepiva trenutačno ne postoje, razvoj stanično posredovanog imunskog odgovora na mikobakterijske antigene u riba otvara znatne istraživačke mogućnosti. Primjena takvih cjepiva u budućnosti mogla bi biti od velike važnosti za zaštitu posebno vrijednih i dugovječnih jedinki (DECOSTERE i sur., 2004.).

Mikobakterioza riba posjeduje znatan zoonotski potencijal, osobito kada je uzročnik vrsta *M. marinum*. Kontakt sa zaraženim ribama ili kontaminiranom vodom u ljudi može uzrokovati specifične kožne infekcije, poznate kao „akvarijski granulomi“ ili „ribarski noduli“, uz inkubaciju koja obično traje od dva do šest tjedana (ANG i sur., 2000.). Promjene se ponajprije pojavljuju na izloženim dijelovima tijela, poput ruku i zapešća, osobito na mjestima iznad koštanih izbočina koja su izložena ozljedama (ANG i sur., 2000.). Ako se ne liječi, bolest može napredovati od pojave čvorića na koži do dubokih čireva (DECOSTERE i sur., 2004.; GAUTHIER i RHODES, 2009.). Osim vrste *M. marinum*, infekcije u ljudi mogu uzrokovati i *M. fortuitum* i *M. chelonae* (DECOSTERE i sur., 2004.). Budući da vrsta *M. marinum* preferira niže temperature (30 – 32 °C) u odnosu na *M. tuberculosis*, promjene su obično ograničene na hladnije, površinske dijelove tijela. Iako je sistemsko širenje rijetko, ono je ipak moguće u imunokompromitiranih osoba (LACAILLE i sur., 1990.; TCHORNOBAY i sur., 1992.; ANG i sur., 2000.). Terapija u ljudi zahtijeva dugotrajnu primjenu kombinacije antibiotika poput rifampicina, etambutola, klaritromicina ili tetraciklina, dok teži slučajevi poput tenosinovitisa i artri-

tisa zahtijevaju i kiruršku intervenciju (EDELSTEIN, 1994.; BHATTY i sur., 2000.). Zbog visokog rizika, akvaristi bi se pri održavanju akvarija obvezno trebali koristiti zaštitnim rukavicama i provoditi dezinfekciju ruku odgovarajućim tuberkulocidnim antiseptikom na osnovi etanola ili izopropanola.

Zaključak

Mikobakterioza je kronična i progresivna zarazna bolest slatkovodnih i morskih riba, a uzrokuju je otporne bakterije iz roda *Mycobacterium*, poput *M. marinum* i *M. fortuitum*. Bolest se najčešće očituje pojavom granuloma u unutarnjim organima, dok su klinički znakovi često nespecifični i u pravilu ovise o mjestu nastanka granuloma. Zbog visoke otpornosti uzročnika na čimbenike iz okoliša i brojne antibiotike, liječenje riba u pravilu je neuspješno, pa se kao glavne mjere preporučuju eutanazija zaraženih jedinki i stroga prevencija putem karantene i dezinfekcije. Posebnu važnost bolesti daje njezin zoonotski potencijal jer u kontaktu sa zaraženom ribom ili kontaminiranom vodom u ljudi može uzrokovati „akvarijske granulome“, specifične kožne infekcije na rukama. Stoga je pri održavanju akvarija nužno koristiti se zaštitnom opremom kako bi se smanjio rizik od prijenosa na ljude.

Literatura

- ALEXANDER, D. M. (1913): A review of piscine tubercle, with a description of an acid-fast bacillus found in the cod. Proc. Trans. Liverpool Biol. Soc. 27, 219-226.
- ANDERSON, E. T., S. FRASCA, M. G. ASAKAWA, M. H. FATZINGER, J. JOHNSON, K. MARCHETTERE, L. GOODALE, G. R. RISSATTI, C. A. HARMS (2012): Splenic mycobacteriosis in an Atlantic guitarfish, *Rhinobatos lentiginosus* Garman. J. Fish Dis. 35, 541-544.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2012.01367.x>
- ANG, P., N. RATTANA-APIROMYAKIJ, C. L. GOH (2000): Retrospective study of *Mycobacterium marinum* skin infections. Int. J. Dermatol. 39, 343-347.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-4362.2000.00916.x>
- ARONSON, J. D. (1926): Spontaneous tuberculosis in salt water fish. J. Infect. Dis. 39, 315-320.
<https://doi.org/10.1093/infdis/39.4.315>
- AUBRY, A., F. MOUGARI, F. REIBEL, E. CAMBAU (2017): *Mycobacterium marinum*. Microbiol. Spectr. 5:TNMI7-00382016.
<https://doi.org/10.1128/microbiolspec.tnmi7-0038-2016>

- AUSTIN, B., D. A. AUSTIN (2016): Bacterial fish pathogens: disease of farmed and wild fish. 6. izd., Springer International, Dordrecht.
- BAI, X., S. HAO, J. FU, H. SUN, Z. LUO (2023): Identification of *Mycobacterium chelonae* from Lined Seahorse *Hippocampus erectus* and histopathological analysis. *Fishes* 8, 225.
<https://doi.org/10.3390/fishes8050225>
- BALCÁZAR, J. L., M. PLANAS, J. PINTADO (2011): Novel *Mycobacterium* species in seahorses with tail rot. *Emerg. Infect. Dis.* 17, 1770-1772.
<https://doi.org/10.3201/eid1709.101289>
- BALCÁZAR, J. L., M. PLANAS, J. PINTADO (2014): *Mycobacterium hippocampi* sp. nov., a rapidly growing scotochromogenic species isolated from a seahorse with tail rot. *Curr. Microbiol.* 69, 329-333.
<https://doi.org/10.1007/s00284-014-0588-6>
- BARKER, L. P., D. M. BROOKS, P. L. C. SMALL (1998): The identification of *Mycobacterium marinum* genes differentially expressed in macrophage phagosomes using promoter fusions to green fluorescent protein. *Mol. Microbiol.* 29, 1167-1177.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.1998.00996.x>
- BASSLEER, G. (2004): Diseases in Marine Aquarium Fish. 3. izd., Bassleer Biofish, Westmeerbeek.
- BATAILLON, E., L. DUBARD, U. TERRE (1897): Un nouveau type de tuberculose. *C. R. Seances Soc. Biol. Fil.* 49, 446-449.
- BHATTY, M. A., D. P. J., TURNER, S. T. CHAMBERLAIN (2000): *Mycobacterium marinum* hand infection: case reports and review of literature. *Br. J. Plast. Surg.* 53, 161-165.
<https://doi.org/10.1054/bjps.1999.3245>
- CHONG, R. S. M. (2022): Mycobacteriosis. U: *Aquaculture Pathophysiology* (Kibenge, F. S. B., B. Baldisserotto, R. S. M. Chong, Ur.), Academic Press, Cambridge, str. 407-415.
- CLARKE, E. O., B. DORN, A. BOONE, G. RISATTI, K. GILBERT-MARCHETERRE, C. A. HARMS (2013): Mycobacteriosis, *Mycobacterium chelonae*, in a captive yellow stingray (*Urobatis jamaicensis*). *J. Zoo Wildl. Med.* 44, 470-474.
<https://doi.org/10.1638/2012-0018r2.1>
- DECOSTERE, A., K. HERMANS, F. HAESBROUCK (2004): Piscine mycobacteriosis: a literature review covering the agent and the disease it causes in fish and humans. *Vet. Microbiol.* 99, 159-166.
<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2003.07.011>
- DOOKIE, N., S. RAMBARAN, N. PADAYATCHI, S. MAHOMED, K. NAIDOO (2018): Evolution of drug resistance in *Mycobacterium tuberculosis*: a review on the molecular determinants of resistance and implications for personalized care. *J. Antimicrob. Chemother.* 73, 1138-1151.
<https://doi.org/10.1093/jac/dkx506>
- EDELSTEIN, H. (1994): *Mycobacterium marinum* Skin Infections. *Arch. Intern. Med.* 154, 1359.
<https://doi.org/10.1001/archinte.154.12.1359>
- FIJAN, N. (2006): Zaštita zdravlja riba. U: *Zaštita zdravlja riba* (Bogut, I., Ur.), Poljoprivredni fakultet, Osijek.
- FIORAVANTI, M. L., D. FLORIO (2017): Common diseases in marine ornamental fishes. U: *Marine Ornamental Species Aquaculture* (Calado, R., I. Olivotto, M. P. Oliver, G. J. Holt, Ur.), Wiley-Blackwell, Oxford, str. 347-380.
- GAUTHIER, D. T., M. W. RHODES (2009): Mycobacteriosis in fishes: a review. *Vet. J.* 180, 33-47.
<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.05.012>
- GAUTHIER, D. T., M. W. RHODES (2017): *Mycobacterium* spp. U: *Fish viruses and bacteria: pathobiology and protection* (Woo, P. T. K., R. C. Cipriano, Ur.), CAB International, Wallingford, str. 245-257.
- GIAVENNI, R., M. FINAZZI, G. POLI, E. GRIMALDI (1980): Tuberculosis in marine tropical fishes in an aquarium. *J. Wildl. Dis.* 16, 161-168.
<https://doi.org/10.7589/0090-3558-16.2.161>
- GIURČEVIĆ, E., S. KUŽIR, LJ. ŽMAK, M. OBROVAC, A. G. KURILJ, S. SAVOCA, A. PAĐEN, K. MATANOVIĆ (2020): A case of mycobacteriosis in farmed pikeperch (*Sander lucioperca*) cultured in a recirculating aquaculture system. *Aquac. Res.* 51, 4824-4827.
<https://doi.org/10.1111/are.14818>
- HARRIFF, M. J., L. E. BERMUDEZ, M. L. KENT (2007): Experimental exposure of zebrafish (*Danio rerio* Hamilton) to *Mycobacterium marinum* and *Mycobacterium peregrinum* reveals the gastrointestinal tract as the primary route of infection: A potential model for environmental mycobacterial infection. *J. Fish Dis.* 30, 587-600.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2007.00839.x>
- JACOBS, J. M., C. B. STINE, A. M. BAYA, M. L. KENT (2009): A review of mycobacteriosis in marine fish. *J. Fish Dis.* 32, 119-130.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.01016.x>
- JANSE, M., M. J. L. KIK (2012): *Mycobacterium avium* granulomas in a captive epaulette shark, *Hemiscyllium ocellatum* (Bonnaterre). *J. Fish Dis.* 35, 935-940.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2012.01444.x>
- LACAILLE, F., S. BLANCHE, C. BODEMER, C. DURAND, Y. DE PROST, J. L. GAILLARD (1990): Persistent *Mycobacterium marinum* infection in a child with probable visceral involvement. *Pediatr. Infect. Dis. J.* 9, 58-59.
<https://doi.org/10.1097/00006454-199001000-00014>
- LEWIS, S., S. CHINABUT (2011): Mycobacteriosis and Nocardiosis. U: *Fish Diseases and Disorders, Volume 3: Viral, Bacterial and Fungal Infections*. 2. izd. (Woo, P. T. K., D. W. Bruno, Ur.), CAB International, Wallingford, str. 397-423.
- MONTERO, E., C. ROJO-SOLÍS, N. DE CASTRO, M. FERNÁNDEZ, V. PÉREZ, J. M. CORPA, J. ORTEGA (2022): Clinical and Pathological Findings Associated with Mycobacteriosis in Captive Syngnathids. *Animals* 12, 3259.

<https://doi.org/10.3390/ani12233259>

NAGLIĆ, T., D. HAJSIG, J. MADIĆ, LJ. PINTER (2005): Veterinarska mikrobiologija: specijalna bakteriologija i mikologija. Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatsko mikrobiološko društvo, Zagreb, str. 226-227.

NOGA, E. J. (2010): Fish Disease, Diagnosis and Treatment. 2. izd., Wiley-Blackwell, Ames, Iowa.

ORTEGA, J., A. NOGUERA, A. GARCÍA-QUIRÓS, D. VIANA, L. SELVA, L. DE JUAN, B. ROMERO, D. GARCÍA-PARRAGA, J. L. CRESPO, J. M. CORPA (2014): Lesional patterns associated with mycobacteriosis in an Atlantic horse mackerel, *Trachurus trachurus* (L.), aquarium population. J. Fish Dis. 37, 591-595.

<https://doi.org/10.1111/jfd.12145>

PAĐEN, A. (2019): Mikobakterioza u smuđa iz uzgoja - prikaz slučaja. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Veterinarski fakultet, Zagreb, Hrvatska.

PATE, M., V. JENCIC, M. ZOLNIR-DOVC, M. OCEPEK (2005): Detection of mycobacteria in aquarium fish in Slovenia by culture and molecular methods. Dis. Aquat. Organ. 64, 29-35.

<https://doi.org/10.3354/dao064029>

PUK, K., L. GUZ (2020): Occurrence of *Mycobacterium* spp. in ornamental fish. Ann. Agric. Environ. Med. 27, 535-539.

<https://doi.org/10.26444/aaem/114913>

RHODES, M. W., H. KATOR, I. KAATTARI, D. GAUTHIER, W. VOGELBEIN, C. A. OTTINGER (2004): Isolation and characterization of mycobacteria from striped bass *Morone saxatilis* from the Chesapeake Bay. Dis. Aquat. Organ.

61, 41-51.

<https://doi.org/10.3354/dao061041>

ROBERTS, R. J. (2012): The Bacteriology of Teleosts. U: Fish pathology. 4. izd. (Roberts, R. J., Ur.), Wiley-Blackwell, Oxford, str. 339-382.

SAKANARI, J. A., C. A. REILLY, M. MOSER (1983). Tubercular Lesions in Pacific Coast Populations of Striped Bass. Trans. Am. Fish. Soc. 112, 565-566.

[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1983\)112%3C565:T LIPCP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1983)112%3C565:T LIPCP%3E2.0.CO;2)

SNIESZKO, S. F. (1978): MYCOBACTERIOSIS (TUBERCULOSIS) OF FISHES. US Fish & Wildlife Publications. 146.

ŠEOL, B., K. MATANOVIĆ, S. TERZIĆ (2010): Antimikrobna terapija u veterinarskoj medicini. Medicinska naklada, Zagreb, str. 1-8.

TCHORNOBAY, A. M., A. L. CLAUDY, J. L. PERROT, V. LÉVIGNE, M. DENIS (1992): Fatal disseminated *Mycobacterium marinum* infection. Int. J. Dermatol. 31, 286-287.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-4362.1992.tb03575.x>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2019): Critically important antimicrobials for human medicine, 6th revision. Geneva.

ZANONI, R. G., D. FLORIO, M. L. FIORAVANTI, M. ROSSI, M. PREARO (2008): Occurrence of *Mycobacterium* spp. in ornamental fish in Italy. J. Fish Dis. 31, 433-441.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.00924.x>

Abstract

Mycobacteriosis is an infectious disease affecting numerous species of freshwater and marine fish, caused by acid-fast bacteria of the genus *Mycobacterium*, primarily *M. marinum*, *M. fortuitum*, and *M. chelonae*. These pathogens are widely distributed in the aquatic environment and sediment, exhibiting high resistance to physico-chemical factors and an innate resistance to numerous antibiotics. The pathogenesis of mycobacteriosis is based on survival of mycobacteria within macrophages, resulting in the formation of characteristic granulomatous inflammatory processes, most commonly in parenchymal organs such as the spleen, liver, and kidneys. The disease typically manifests in a chronic form with non-specific symptoms, while carriers play a crucial role in the spread of infection within the ornamental fish trade. Diagnosis relies on the clinical presentation, histopathological findings of granulomas, and the detection of acid-fast bacteria using Ziehl-Neelsen staining. Given that treatment in fish is generally unsuccessful and the use of antitubercular drugs is ethically questionable due to the risk of developing resistance in humans, radical measures such as euthanasia of infected individuals and thorough disinfection of the aquarium are recommended. The disease is of particular significance due to its zoonotic potential, as direct contact with contaminated objects and water can cause a disease in humans characterized by specific skin lesions, also known as "fish tank granulomas".

Key words: Mycobacteriosis, *Mycobacterium* spp., granulomatous inflammation, ornamental fish, zoonosis