

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

FUNKCIONALNA GRAĐA I TOKSINI NEMATOCISTA
MEDUZOIDNIH ŽARNJAKA

FUNCTIONAL STUCTURE AND TOXINS OF NEMATOCYSTS
IN JELLYFISH CNIDARIANS

SEMINARSKI RAD

Petra Mlacović

Preddiplomski studij znanosti o okolišu
(Undergraduate Study of Environmental Science)

Mentor: prof. dr. sc. Biserka Primc

Zagreb, 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	3
2. GRAĐA NEMATOCISTE.....	4
3. MORFOLOŠKI TIPOVI NEMATOCISTA.....	6
4. TOKSINI NEMATOCISTA.....	9
5. NAJPOZNATIJI MEDUZOIDNI ŽARNJACI.....	10
6. LITERATURA.....	13
7. SAŽETAK.....	14
8. SUMMARY.....	14

1. UVOD

Koljeno *Cnidaria* (žarnjaci) broji oko 10000 vrsta od kojih najveći broj živi u moru, a samo nekoliko vrsta u slatkim vodama. Žarnjaci su radijalno simetrični beskralježnjaci, a nalazimo ih u obliku polipa ili meduze na raznim staništima (Rifkin, 1993; Habdija et al., 2011). Koljeno je podijeljeno na četiri razreda, od kojih koralje (*Anthozoa*) nalazimo samo u obliku polipa, dok režnjake (*Scyphozoa*), kubomeduze (*Cubozoa*) i obrubnjake (*Hydrozoa*) nalazimo u obliku polipa i meduza (Habdija et al., 2011).

Karakteristika koja žarnjake razlikuje od ostalih životinja je postojanje žarnih stanica odnosno knidocita između njihovih epitelno-mišićnih stanica, a upravo zbog činjenice da knidocite nalazimo isključivo kod žarnjaka cijelo koljeno dobilo je po njima ime *Cnidaria* (Kass-Simon, Scappaticci, 2002; Habdija et al., 2011). Žarne stanice imaju više uloga, a najvažnije su hvatanje plijena, obrana, pokretanje te prijanjanje za površinu supstrata ili druge životinje (Brusca i Brusca, 2003). Knidocite su rasprostranjene po čitavoj epidermi, a u najvećem broju nalaze se na lovkama, oko usta, gdje se često pojavljuju u nakupinama u bradavičastim strukturama koje nazivamo „baterije žarnica“, te na određenim dijelovima gastrodeme (Brusca i Brusca, 2003; Habdija et al., 2011). Unutar knidocita nalazi se knida ili žarnica, membranozna čahura ispunjena tekućinom u kojoj se nalazi žarna nit koja nastaje invaginacijom stijenke čahure te predstavlja jednu od najkompleksnijih unutarstaničnih struktura (Brusca i Brusca, 2003; Habdija et al., 2011). Knide nastaju unutar knidoblasta u epidermi ili gastrodermi žarnjaka, a kada se knida u potpunosti formira knidoblast se naziva knidocit (Brusca i Brusca, 2003). Tijekom formiranja žarnice knidoblast proizvodi veliku unutarnju vakuolu u kojoj se odvija intracelularna reorganizacija, pri čemu sama knida nastaje sekrecijom iz Golgijevog aparata knidoblasta (Östman, 2000; Brusca i Brusca, 2003).

Razlikujemo tri tipa žarnica: nematociste, spirociste i ptihociste (Habdija et al., 2011). Spirociste imaju kapsulu omeđenu jednom stijenkom i ispunjenu mukoproteinima i glikoproteinima te žarnu nit koja se omota oko žrtve i zalijepi za nju, a nalazimo ih samo kod pripadnika podrazreda koralja *Zoantharia* (Östman, 2000; Brusca i Brusca, 2003). Ptihocise imaju tanku stijenku i žarnu nit bez bodlji, primarno su ljepljive i služe za prijanjanje, a nalazimo ih kod roda *Ceriantharia* gdje im je funkcija formiranje cijevčice u kojoj ovi koralji obitavaju (Östman, 2000; Brusca i Brusca, 2003). Dok spirociste i ptihociste nalazimo samo kod koralja koji nemaju oblik meduze i kod njih ne nalazimo toksine, nematociste su prisutne kod svih skupina žarnjaka i razlikujemo više od 30 oblika sa raznim toksinima (Fautin, 2009;

Habdija et al., 2011). U ovom seminaru biti će riječi o građi nematocista, njihovoj složenoj podjeli te toksinima koje u njima nalazimo.

2. GRAĐA NEMATOCISTE

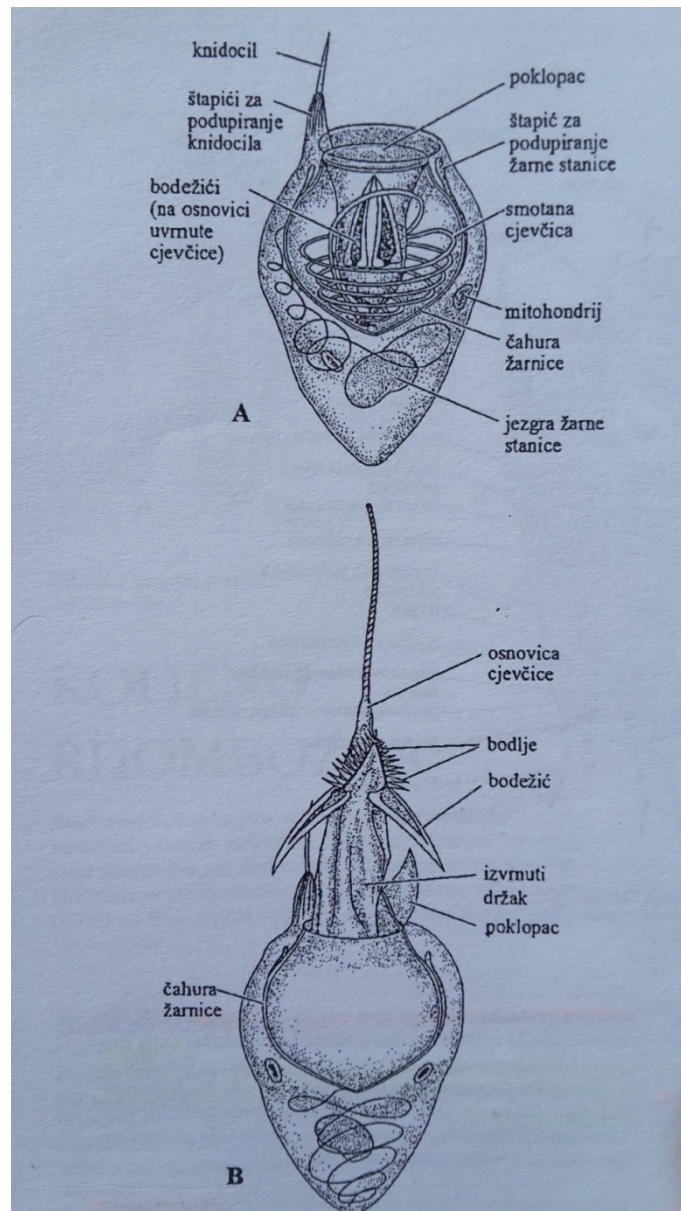
Nematociste imaju čahuru u kojoj se nalazi toksična tekućina i smotana žarna nit (slika 1). Kada su u potpunosti formirane duge su 5–100 μm . Čahura nematociste je oblikovana poput cigare i ima dvije stijenke. Vanjska stijenka građena je od gobularnih proteina, dok je unutarnja stijenka građena od snopova vlakana sličnih kolagenu sa međusobnim razmakom od 5 do 100 nanometara (Brusca i Brusca, 2003). Čahura je na gornjem dijelu izvrmuta prema unutra u žarnu nit. Žarna nit je dugačka šuplja cjevčica koja na površini najčešće ima trnove i dlačice, a kada je izbačena probije integumentni sustav žrtve i kroz nju otrovna tekućina istječe u žrtvu. Tekućina unutar čahure sadrži visoke koncentracije fenola, iona, aminokiselina i proteina, a proteini u najvećem broju predstavljaju toksine (Brusca i Brusca, 2003; Habdija et al., 2011).

Kod režnjaka i obrubnjaka gornja površina nematociste prekrivena je poklopcem koji se naziva operkulum, a otvara se prilikom izbacivanja žarne niti (slika 1). Na vrhu nematociste kod režnjaka, obrubnjaka i kubomeduza nalazi se knidocil, kruta i nepokretna osjetna trepetljika koja služi kao mehanoreceptor i potiče izbacivanje žarne niti (Brusca i Brusca, 2003). Kod koralja nematociste na mjestu operkuluma imaju tri zaliska, a njihova osjetna trepetljika je pokretna i naziva se trepetljikavi čunj (Habdija et al., 2011).

Nematociste, za razliku od spirocista i ptihocista koje služe za pričvršćivanje, probijaju integumentni sustav žrtve i kroz cjevčicu ispuštaju otrov u žrtvu (Brusca i Brusca, 2003). Proces izbacivanja nematociste naziva se eksocitoza, a nakon izbacivanja žarna stanica degenerira i zamijenjuje ju nova žarna stanica (Brusca i Brusca, 2003; Habdija et al., 2011). Mehanizam izbacivanja nematociste nije u potpunosti razjašnjen, pa tako postoji nekoliko hipoteza (Rifkin, 1993; Brusca i Brusca, 2003). Osmotička hipoteza tvrdi da se hidrostatski tlak unutar stanice poveća donosom vode ili iona u trenutku ili malo prije izbacivanja nematociste, pri čemu voda u stanicu može doći u trenutku pomicanja operkuluma ili zbog propusnosti stijenke čahure. Sljedeća hipoteza tvrdi da se u trenutku izbacivanja nematociste proizvede energija enzimatskim reakcijama u citoplazmi stanica koje okružuju žarnu stanicu. Kontraktilna hipoteza polazi od pretpostavke da se aktiviraju kontraktilni elementi u stijenci

čahure ili oko čahure te pritom dolazi do porasta tlaka u stanici i izbacivanja nematociste. Zastupljena je i hipoteza koja tvrdi da je energija sačuvana unutar same namotane cjevčice unutar čahure te pomicanjem operkuluma dolazi do njezinog izbacivanja.

Recentna istraživanja dovela su do teorije koja ujedinjuje osmotsku i kontraktilnu hipotezu, a govori da kada kemijski ili mehanički stimulans podraži knidocil dolazi do pomicanja operkuluma čime se primjenjuje pritisak na kontraktilne filamente oko nematociste, dolazi do polimerizacije proteina unutar čahure i odmah nakon polimerizacije u čahuru ulazi voda čime se poveća tlak i dolazi do izbacivanja nematociste (Rifkin, 1993). Tlak unutar stanice netom prije izbacivanja naraste do oko 150atm, a prilikom samog izbacivanja i penetriranja u integumentni sustav žrtve postigne se akceleracija od 5000000g, što izbacivanje nematociste čini jednim od najbržih bio-mehaničkih procesa u prirodi (Rachamim et al., 2014).



Slika 1. Nematocit prije (A) i poslije izbacivanja (B). (preuzeto iz: Habdija et al., 2011)

3. MORFOLOŠKI TIPOVI NEMATOCISTA

Morfološki razlikujemo oko 30 tipova nematocista. Najveći broj nematocista razlikujemo kod obrubnjaka, kod njih se javljaju čak 23 tipa od kojih 17 nalazimo samo kod pripadnika ovog razreda. Kod koralja možemo razlikovati 6 tipova nematocista, od kojih 2 tipa nalazimo samo kod njih, dok se kod režnjaka i kubomeduza razlikuju 3 tipa nematocista od kojih je jedan tip zajednički i režnjacima i kubomeduzama (Fautin, 2009). Pojedine vrste žarnjaka imaju više

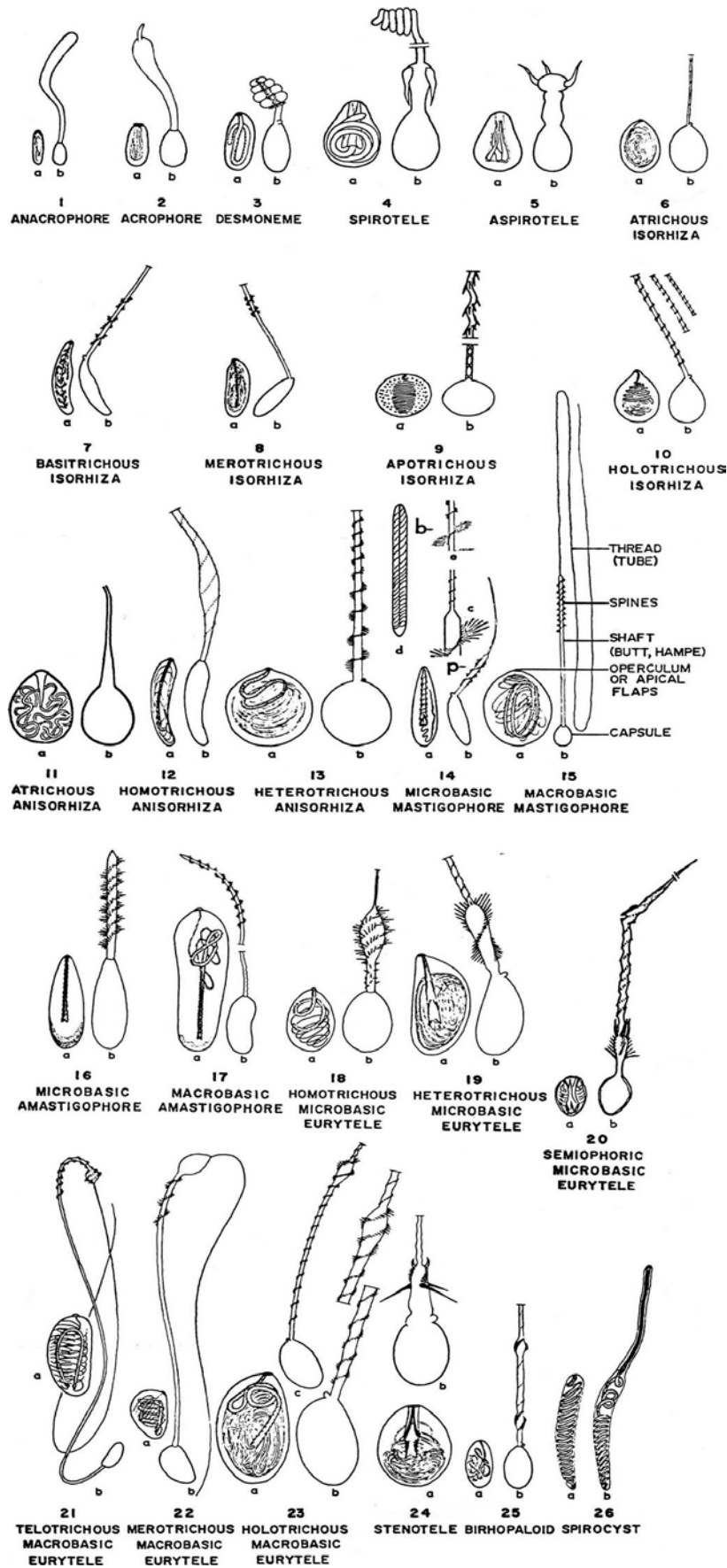
tipova nematocista, svaki sa svojom ulogom, pa tako na primjer dva tipa mogu služiti za prehranu, a jedan za obranu i slično (Kass-Simon i Scappaticci, 2002).

Prema Östmanu (2000) nematociste se dijele u dvije grupe, astomoknide koje imaju cjevčicu zatvorenu na vrhu i stomoknide koje imaju otvor na vrhu cjevčice (slika 2). Astomoknide su uglavnom nematociste koje životinja koristi za prijanjanje za supstrat ili omotavanje žrtve, dok su stomoknide one koje penetriraju žrtvu i u sebi nose toksine (Kass-Simon i Scappaticci, 2002).

Stomoknide imaju izrazito složenu podjelu koja se temelji na razlikama u bodljama na cjevčici i izgledu cjevčice (slika 2). S obzirom na bodlje na cjevčici stomoknida razlikujemo atrihijske koje nemaju bodlji, bazitrihijske koje imaju bodlje samo u baznom dijelu cjevčice, heterotrihijske koje imaju dvije ili više vrsta bodlji, holotrihijske koje imaju bodlje duž cijele cjevčice te homotrihijske koje imaju samo jedan tip bodlji (Östman, 2000).

Prema izgledu same cjevčice stomoknide se dijele na izorhize, anizorhize, rabdoide i ropaloide. Kod izorhiza cjevčice cijelom dužinom imaju jednaki promjer, dok je kod anizorhiza cjevčica lagano proširena prema bazi. Rabdoidi imaju cjevčicu sa istaknutim bodljama koji su uglavnom jednake veličine, a dijele se na mastigopore i amastigopore. Mastigopore imaju cjevčicu dužu od samog izvrnutog drška, a razlikujemo p-mastigopore koje imaju usjek u obliku slova V u bazi neizvrnutog drška i b-mastigopore koje taj usjek nemaju. Kod amastigopora cjevčica nije duža od izvrnutog drška stomoknide. Ropaloidi imaju cjevčicu i držak nejednakih promjera, a dijele se na euritele, stenotele i birhopaloide. Euritele imaju distalno proširen izvrnuti držak, stenotele imaju izvrnuti držak proširen u bazi i bodežiće na mjestu suženja između bazalnog i distalnog dijela, dok birhopaloidi imaju izvrnuti držak sa jednim distalnim i jednim proksimalnim proširenjem.

Pri podjeli stomoknida razlikujemo i mikrobazne, mezobazne te makrobazne stomoknide (slika 2). Mikrobazne stomoknide imaju dužinu izvrnutog drška i cjevčice kraću od 1,5 puta dužine čahure. Kod mezobaznih je dužina izvrnutog drška i cjevčice duža od 1,5 puta dužine čahure, ali manja od 4 puta dužine čahure, dok je kod makrobaznih stomoknida dužina drška i cjevčice veća od 4 puta dužine čahure (Östman, 2000).



Slika 2. Razni oblici nematocista. (preuzeto iz: Kass-Simon i Seappaticci, 2002)

4. TOKSINI NEMATOCISTA

Nematociste su u najvećem broju slučajeva ispunjene raznim toksinima koji se prilikom izbacivanja nematociste prenose na žrtvu ili na napadača (Lee et al., 2016). Kod nekih vrsta žarnjaka toksini su slabiji, dok su kod nekih toliko jaki da mogu biti smrtonosni i za čovjeka, a do danas je definirano 156 različitih toksina koje nalazimo u nematocistama (Jouiaei et al., 2015; Lee et al., 2016). Lovke meduza mogu sadržavati od nekoliko tisuća do nekoliko bilijuna nematocista koje se izbacuju u razdoblju od nekoliko sekundi i paraliziraju plijen (Lee et al., 2016).

Otrov meduze je mješavina toksina sa širokim spektrom bioloških aktivnosti koje dovode do hemolitičkih, kardiovaskularnih ili citotoksičnih efekata (Badré, 2014; Lee et al., 2016). Do sada su opisani neurotoksini, citolitički toksini i enzimatski toksini kao na primjer proteaze i fosfolipaze (Badré, 2014). Komponente meduzinog otrova obuhvaćaju široki spektar od neproteinskih komponenti do složenih proteina koji su evoluirali kroz prošlost. U najvećem broju kod žarnjaka kao toksine nalazimo enzime, toksine koji formiraju pore na membranama stanica žrtve (engl. *pore forming toxins*), neurotoksine i neproteinske bioaktivne komponente.

Najbolje istraženi enzimi su fosfolipaza A₂ i metaloproteaza. Fosfolipaza A₂ nađena je kod pripadnika sva četiri razreda žarnjaka, ima hemolitičku aktivnost i hidrolizira *sn*-2 acyl vezu glicerofosfolipida. Metaloproteaze su važna komponenta otrova terestričkih životinja kao što su zmije i krpelji, a sastavni su dio otrova nekoliko meduza od kojih je najpoznatija kubomeduza *Chironex fleckeri*. Metaloproteaze induciraju krvarenje i nekrozu tako što razlažu ekstracelularni matriks i sprječavaju formiranje krvnih ugrušaka.

Toksini koji formiraju pore na membranama stanica žrtve prisutni su kod svih žarnjakai djeluju tako da penetracija membrane stanice žrtve rezultira difuzijom malih molekula pri čemu dolazi do osmotske neravnoteže i lize stanice. U žarnjaka su ovi toksini podijeljeni u dvije skupine: α -PTFs (engl. *α -pore forming toxins*) ili aktinoporini i β -PTFs. Aktinoporini su proteini bez intramolekularne disulfidne veze, a prisutni su kod koralja i obrubnjaka. Uzrokuju kardiovaskularne i respiratorne probleme i lizu eritrocita. Probijanje membrane plijena odvija se u nekoliko koraka: vezivanje na membranu pomoću petlje bogate aromatima, lateralno orijentiranje te umetanje N-terminalne amfifilne α -uzvojnice koja se odvaja od aktinoporina i na membrani plijena stvara pore promjera 1-3 nm. U ovu skupinu toksina ubrajamo i toksine specifične za određene vrste meduza, kao na primjer toksin CqTX-A kod meduze *Chiropsalmus quadrigatus* ili toksine CfTX-1/2 i CfTX-A/B/Bt kod meduze

Chironex fleckeri. Takvi toksini su strukturalno proteini i sadrže α i β domene, a prilikom stvaranja pora dolazi do oligomerizacije nekoliko amfifilnih i hidrofobnih α -uzvojnica u N-terminalnoj regiji toksina što dovodi do smrti stanice žrtve. Toksin CFTX na ljudskim eritrocitima stvara pore promjera do 25 nm.

Neurotoksini su peptidi niske molekulske mase, a najviše su zastupljeni kod vlasulja, nešto manje kod meduza. Oni produžuju akcijski potencijal membrana osjetnih neurona i mišićnih stanica i tako remete mehanizam natrija i kalija, pa stanice postaju hiperaktivne i otpuštaju ogromne količine neurotransmitera na sinapsu i dolazi do paralize (Jouiaei et al., 2015).

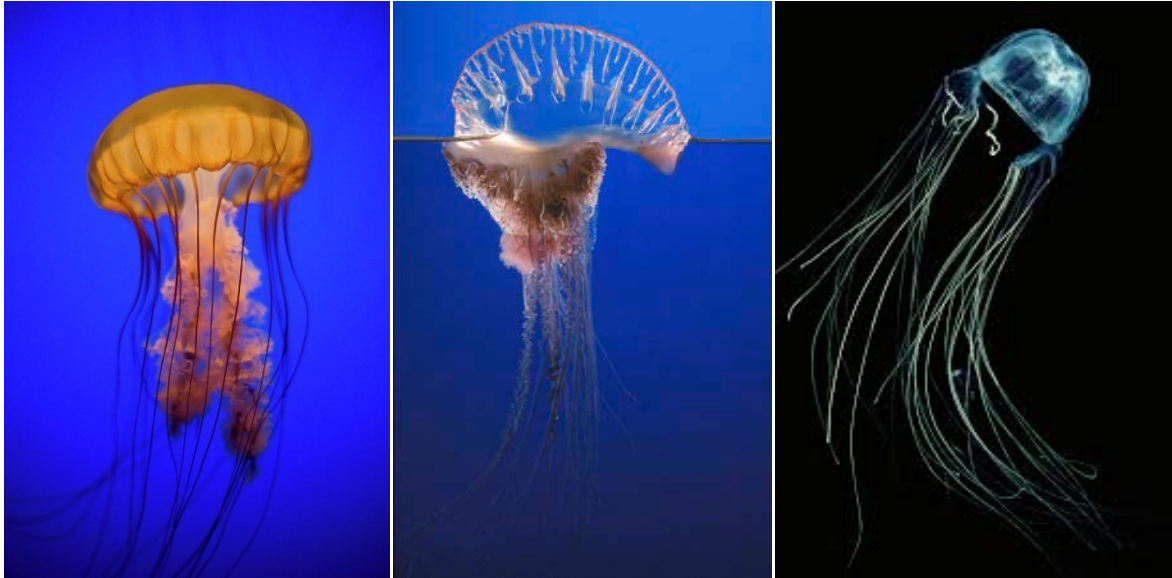
5. NAJPOZNATIJI MEDUZOIDNI ŽARNJACI

Od četiri razreda koja su obuhvaćena u koljeno žarnjaka, jedino koralji nemaju oblik meduze. Meduze su slobodnoplivajući oblici, a izgledom se međusobno razlikuju skifomeduza, kubomeduza i hidromeduza (Habdija et al., 2011). Meduzoidni žarnjaci su široko rasprostranjeni po morima diljem svijeta, a najčešće ih se susreće na području Mediterana i Australije. Dok su neke vrste naoružane toksinima koji nisu pretjerano štetni za čovjeka, neke meduzoidne vrste izrazito su opasne (Badré, 2014). Kada govorimo o režnjacima (*Scyphozoa*) najpoznatije vrste su ušati klobuk (*Aurelia aurita*), morska mjesečina (*Pelagia noctiluca*) te *Chrysaora quinquecirrha*, kod kubomeduza (*Cubozoa*) to su morska osa (*Chironex fleckeri*) i *Chiropsalmus quadrigatus*, a kod obrubnjaka (*Hydrozoa*) to je modri loptaš (*Physalia physalis*) (Burnett i Calton, 1977; Habdija et al., 2011).

U daljnjem tekstu biti će međusobno uspoređene nematociste i toksini najopasnijih vrsta pojedinih skupina: režnjak *Chrysaora quinquecirrha*, kubomeduza morska osa i obrubnjak modri loptaš (slika 3). Vrsta *C. quinquecirrha* ima nekoliko morfološki različitih tipova nematocista, a otrov joj se sastoji od mnoštva enzima i polipeptida. Morska osa ima 5 različitih vrsta nematocista i puno jači otrov od vrste *C. quinquecirrha* (Burnett i Calton, 1977). Modri loptaš predstavlja plutajuću zadrugu sastavljenu od velikog broja različitih tipova polipa i pričvršćenih meduza, ima samo jedan tip nematocista u različitim veličinama i s jakim otrovom (Burnett i Calton, 1977; Habdija et al., 2011). Otrovnost nematocista režnjaka *C. quinquecirrha* sadrži razne enzime: ATPazu, aminopeptidaze, RNaze, DNaze, hijaluronidaze, razne proteaze. Kod modrog loptaša otrov je uglavnom sastavljen od raznih proteina, šest enzima (ATPaza, aminopeptidaza, RNaza, DNaza, AMPaza i fibrolizin) i nekoliko

aminokiselina. Otrovnost morske ose sadrži proteine, karbohidrate, papain, tripsin i mnoštvo drugih spojeva. O razini toksičnosti ovih vrsta govori činjenica da su toksini *C. quinquecirrha* letalni za miša i nekoliko vrsta rakova, toksini modrog loptaša letalni su za miševе, štakore, neke rakove i zečeve, dok su toksini morske ose letalni za škampe, neke ribe, miševе, zamorce, štakore, zečeve, ovce i majmune. Sve tri vrste meduza pokazuju kardiotoksičnost, što znači da njihove žrtve mogu umrijeti zbog zatajenja srca, neurotoksičnost pri čemu toksini *C. quinquecirrha* djeluju na periferne živce dok toksini morske ose utječu na mogućnost kontrahiranja dijafragme, te muskulotoksičnost (Burnett i Calton, 1977). Kada govorimo o tome koliku opasnost ove tri vrste predstavljaju za ljude, uočavamo „hijerarhiju“ od najmanje opasne vrste *C. quinquecirrha*, preko modrog loptaša, do morske ose koja se smatra najotrovnijom meduzom na svijetu (Burnett i Calton, 1977; Badré, 2014). Susret sa *C. quinquecirrhaom* bolan je, a radi se o opekotini koja rezultira osipom i izbijanjem plikova. Dodir lovki modrog loptaša ostavlja dugotrajni ožiljak na koži, izaziva jaku bol, probleme s disanjem, a u najgorem slučaju može doći i do smrti. Najmanje ugodan zasigurno je susret sa morskom osom jer dodir njezinih lovki izaziva izrazito bolne opekotine koje mogu ostaviti trajne ožiljke na koži, izaziva gubitak svijesti, hipertenziju, hipotenziju, zatajenje srca i dišnog sustava, a smrt može nastupiti samo nekoliko minuta nakon kontakta s lovkama.

Kod meduzoidnih žarnjaka postoji velika raznolikost u vanjskom izgledu, ali i u građi nematocista i toksinima u njima. Do danas se količina istraživanja na meduzama znatno povećala u odnosu na prošlo stoljeće, ali su ove fascinantne životinje još uvijek prilično slabo istražene (Badré, 2014).



Slika 3. *Chrysaora quinquecirrha*, *Physalia physalis* i *Chironex fleckeri*.

(<http://fineartamerica.com/featured/sea-nettle-jellyfish-chrysaora-quinquecirrha-in-an-aquarium-patrick-strattner.html>; <http://australianmuseum.net.au/image/bluebottle-or-portuguese-man-of-war-physalia-physalis>; <https://sites.google.com/site/cnidariaproject2014/home/cubozoa/types-of-cubozoa>)

6. LITERATURA

- Badré S. (2014). Bioactive toxins from stinging jellyfish. *Toxicon* (2014). pp. 1-12
- Brusca, R.C., Brusca, G.J. (2003). *Invertebrates*. 2. izdanje. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, pp. 936
- Burnett J.W., Calton G.J. (1977). Review article: The chemistry and toxicology of some venomous pelagic Coelenterates. *Toxicon*. 15. pp. 177-196
- Fautin D.G. (2009). Structural diversity, systematics, and evolution of cnidae. *Toxicon*. 54. pp. 1054–1064
- Habdija I., Primc Habdija B., Radanović I., Špoljar M., Matoničkin Kepčija R., Vujčić Karlo S., Miliša M., Ostojić A., Sertić Perić M. (2011). *Protista – Protozoa; Metazoa – Invertebrata*. 1. izdanje. Zagreb: Alfa d.d.
- Jouiaei M., Yanagihara A.A., Madio B., Nevalainen T.J., Alewood P.F., Fry B.G. (2015). Ancient Venom Systems: A Review on Cnidaria Toxins. *Toxins* 2015. 7. pp. 2251-2271
- Kass-Simon G., Scappaticci A.A. (2002). The behavioral and developmental physiology of nematocysts. NRC Research Press Web site. Dostupno na: <http://cjz.nrc.ca> [09.08.2016]
- Lee H., Kwon Y.C., Kim E. (2016). Jellyfish Venom and Toxins: A Review. *Marine and Freshwater Toxins*. pp. 341-358
- Rachamim T., Morgenstern D., Aharonovich D., Brekhman V., Lotan T., Sher D. (2014). The dynamically-evolving nematocyst content of an Anthozoan, a Scyphozoan and a Hydrozoan. *MBE Advance Access* published December 16, 2014. Dostupno na: <http://mbe.oxfordjournals.org/> [09.08.2016.]
- Rifkin J. (1993). The amazing nematocyst. *SPUMS Journal* Vol 23 No 2. pp. 107-111
- Östman C. (2000). A guideline to nematocyst nomenclature and classification, and some notes on the systematic value of nematocysts. *Scientia Marina*. 64. pp. 31-46

7. SAŽETAK

Koljeno Cnidaria dijeli se na četiri razreda od kojih koralji nemaju, a režnjaci, kubomeduze i obrubnjaci imaju oblik meduze. Glavno obilježje po kojem se žarnjaci razlikuju od ostalih životinja je postojanje knidocita, specijaliziranih stanica koje imaju ulogu hvatanja plijena, obrane i prianjanja na površinu. Razlikujemo tri tipa knidocita: spirociste, ptihociste i nematociste. Spirociste i ptihociste nalazimo kod koralja, dok kod meduza nalazimo samo nematociste. Postoji više od 30 različitih oblika nematocista koje u sebi nose toksine različitih sastava. Nematociste se sastoje od čahure i cjevčice koja se potaknuta kemijskim ili mehaničkim podražajima izbacuje i prilikom izbacivanja probija epidermu žrtve i u nju ispušta otrov. Do izbacivanja cjevčice dolazi zbog porasta tlaka u stanici, a sam proces izbacivanja jedan je od najbržih bio-mehaničkih procesa u prirodi. Nematociste se dijele na astomoknide koje imaju zatvoren vrh cjevčice i stomoknide koje imaju otvor na vrhu cjevčice. Stomoknide se dijele na temelju razlika u bodljama na cjevčici, izgledu cjevčice i duljini izbačenog drška i cjevčice u odnosu na duljinu čahure. Do danas je definirano 156 različitih toksina uz nematocista. Kao toksine najčešće nalazimo enzime, neurotoksine, toksine koji formiraju pore na membranama stanice žrtve i neproteinske bioaktivne komponente. Od svih danas poznatih meduza najpoznatije su one najotrovnije kao na primjer morska osa (*Chironex fleckeri*) i modri loptaš (*Physalia physalis*) te one najrasprostranjenije kao morska mjesečina (*Pelagia noctiluca*) i ušati klobuk (*Aurelia aurita*).

8. SUMMARY

Phylum Cnidaria is divided in four classes of which Anthozoa do not, but Scyphozoa, Cubozoa and Hydrozoa do have the shape of jellyfish. The main characteristic on which Cnidaria diverse from other animals is the existence of cnidocytes, specialised cells which have a role in capturing prey, defence and adhesion to the surface. There are three types of cnidocysts: spirocysts, ptychocysts and nematocysts. Spirocysts and ptychocysts are found in Anthozoa, while nematocysts are found only in jellyfish. There are more than 30 shapes of nematocysts which contain differently structured toxins. Nematocysts consist of shaft and tubule which when chemically or mechanically stimulated ejects and penetrates epidermis of the victim and releases its poison. The tubule is ejected because the pressure in the cell rises, that process of ejection is one of the fastest bio-mechanical processes in nature. There are two

types of nematocysts: astomocnidae whose tubule is closed at the tip and stomocnidae whose tubule is opened at the tip. Stomocnidae are divided based on the differences in tubule thorns, morphology of the tubule and the length of the everted shaft and tubule compared to the length of closed shaft. Until today 156 different toxins from nematocysts have been defined. Most common toxins are enzymes, neurotoxins, pore forming toxins and non-protein bioactive components. From all known jellyfish, the most famous ones are the most poisonous such as *Chironex fleckeri* and *Physalia physalis* and those that are spreaded all around the world such as *Aurelia aurita* and *Pelagia noctiluca*.