

UTJECAJ ISTOSMJERNE ELEKTRIČNE STRUJE NISKE JAKOSTI NA BAKTERIJE U MORSKOJ VODI

The Influence of Low Amperage Electric Current on Various Bacterial Species in Seawater

Andrea Štifanić, bacc. sanit. ing.

Studentica Diplomskog sveučilišnog studija Sanitarno inženjerstvo
Medicinski fakultet
Sveučilište u Rijeci
Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka

Vanja Vasiljev Marchesi, dipl. san. ing.

Katedra za socijalnu medicinu i epidemiologiju
Medicinski fakultet
Sveučilište u Rijeci
Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka
E-mail: vvanja@medri.hr

Morana Tomljenović, dr. med.

Katedra za socijalnu medicinu i epidemiologiju
Medicinski fakultet
Sveučilište u Rijeci
Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka
E-mail: tmorana@medri.hr

prof. dr. sc. Tomislav Rukavina, dr. med.

Katedra za socijalnu medicinu i epidemiologiju
Medicinski fakultet
Sveučilište u Rijeci
Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka
Zavod za mikrobiologiju
Nastavni zavod za javno zdravstvo
Krešimirova 52 a, 51000 Rijeka
E-mail: tomir@medri.hr

UDK 614.4:62.3.024

Sažetak

Mikroorganizmima kontaminirana morska voda mogući je izvor infekcije za čovjeka ili izravno ili konzumacijom hrane iz mora. Konvencionalne metode za dezinfekciju vode za piće nisu primjenjive za morski okoliš.

U našem istraživanju ispitivali smo učinak istosmjerne električne struje niske jakosti na različite ubikvitarne, a ujedno i potencijalno patogene bakterijske vrste: Staphylococcus epidermidis, Klebsiella pneumoniae i Escherichia coli. Utjecaj istosmjerne struje niske jakosti promatran je pri 4,9 A i 24 V u pripremljenoj standardiziranoj otopini morske vode.

Broj svih tretiranih bakterijskih vrsta reduciran je na približno 10² CFU/mL u prvih pet sekunda. Najosjetljivija na djelovanje električne struje je vrsta S. epidermidis; ona je u potpunosti eliminirana nakon deset sekunda. K. pneumoniae je najotpornija pa se potpun letalni učinak ostvaruje nakon dvadeset sekunda električnog tretmana.

Zaključno, rezultati su pokazali da je tretman električnom strujom niske jakosti pogodan za učinkovitu i brzu eliminaciju bakterija u morskoj vodi.

Ključne riječi: dezinfekcija, more, struja, Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Staphylococcus epidermidis.

Summary

According to literature data low amperage electric current is an alternative method for water disinfection. In our study we wanted to examine its effect on various bacterial species: *Staphylococcus epidermidis*, *Klebsiella pneumoniae* and *Escherichia coli*.

We used device for the generation of low amperage direct electric current. The lethal effect of low amperage direct electric current on bacteria was monitored in standardized seawater suspension with 4,9 A and 24 V.

Staphylococcus epidermidis was shown to be the most sensitive species tested. The lethal effect was achieved after 10 seconds of treatment. The most resistant bacterial species on electric treatment was *Klebsiella pneumoniae* for which the lethal effect was accomplished after 20 seconds.

Our results indicate that the low amperage electric field treatment is effective for rapid inactivation of bacteria in seawater.

Keywords: seawater, *Staphylococcus epidermidis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, low amperage direct current, disinfection

UVOD / Introduction

Uz fizikalnu i kemijsku kontaminaciju, specifičan je oblik onečišćenja obalnoga mora i zastupljenost patogenih mikroorganizama koji u more dospijevaju otpadnim vodama fekalnog podrijetla. Takvi organizmi mogu izazvati različite infekcije kod ljudi, i to bilo neposrednim kontaktom s kontaminiranom morskom vodom (dodir s kožom, sluznicama ili ingestijom vode) ili posredno konzumacijom organizama u kojima se patogeni mikroorganizmi koncentriraju, u prvom redu školjkaša (Duraković, 1996.).

Među patogenim mikroorganizmima što otpadnim vodama fekalnog podrijetla dospijevaju u more mogu se naći različite vrste bakterija, gljiva i virusa. Pritom, u najizrazitije ubrajaju se rodovi: *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Campylobacter*, *Yersinia*, *Aeromonas*, zatim vrsta *Escherichia coli* i veći broj vrsta streptokoka. Brojne studije govore o povezanosti pojave bolesti u kupača i onečišćene morske vode. Prema većini istraživanja jasan je dokaz da se u takvim okolnostima u većine pojavljuju dijarealni simptomi. Međutim, nekoliko epidemioloških studija pokazalo je visoku incidenciju i nedijarealnih bolesti, npr. infekcije oka, uha, nosa, kože i njihovu povezanost s kupanjem. Primjerice, neka istraživanja upućuju na povećanu pojavnost stafilokoknih infekcija u kupača izloženih moru u kojemu su boravili pacijenti oboljeli od stafilokokne bolesti (Cooper, Danielson, 2002.).

Uz rekreacijske svrhe more se iskorištava i za uzgoj morskih organizama, i zahtjevi su tržišta za kvalitetnim vrstama riba, rakova i školjaka sve veći. Među vodenim ekosustavima posebno mjesto zauzimaju ribnjaci. Poznat je problem pritom uzgoj velikog broja riba u ograničenom prostoru, što pogoduje visokoj kontaminaciji, brzom širenju infekcija i razvoju robljih

bolesti. Spomenuti se problem najčešće pokušava riješiti antibioticima, ali to nije učinkovito rješenje zbog stvaranja antimikrobne rezistencije mikroorganizama i posljedične nedjelotvornosti antibiotika.

U novije vrijeme sve je veće zanimanje za novim spoznajama iz područja mikrobiologije koje uključuju i istraživanje metoda za uspješnu redukciju ili eliminaciju mikroorganizama iz vodenog okoliša (Smith i dr., 2000.; Blatchley i dr., 2001.). Noviji literaturni podaci govore o istraživanjima u kojima se ispituje utjecaj električne struje kao netoplinske i nekemijske metode za dezinfekciju vode. U tim istraživanjima važno mjesto zauzimaju propitivanja učinkovitosti istosmjerne električne struje niske jakosti koja se propušta između elektroda i djeluje letalno na stanice mikroorganizama već u nekoliko sekunda. Moguća primjenjivost takvih metoda mogla bi biti djelotvorna na bakterijskim biofilmovima u brodskim obraštajima ili medicinskim uređajima i pomagalicama (kateteri), pri tretiranju umjetnih ribnjaka, rekreacijskih bazena ili pak plitkih obalnih voda (Park i dr., 2003.; Zvitov i dr., 2004.; Rabinovitch i Stewart, 2006.; Van der Borden i dr., 2004.).

Cilj ovome radu je ispitivati osjetljivost pojedinih bakterijskih vrsta na utjecaj istosmjerne električne struje niske jakosti u različitim vremenskim iznosima. Željela se ustanoviti osjetljivost pojedinih ubikvitarnih bakterijskih vrsta iz skupine uvjetno patogenih mikroorganizama, uključujući vrstu *S. epidermidis* (potencijalni uzročnik infekcija kože i vidljivih sluznica), *K. pneumoniae* (čest uzročnik teških upala pluća, posebno u bolničkoj sredini) i *E. coli* (uzročnik intestinalnih i ekstraintestinalnih infekcija). Sve naznačene bakterijske vrste pripadnici su čovjekove fiziološke flore i često se nalaze u čovjekovu okruženju, pa i u vodenim medijima. Zbog navedenih razloga izabrane su nam bakterijske vrste poslužile kao dobar eksperimentalni model.

MATERIJALI I METODE RADA / *Materials and methods*

Materijali / *Materials*

Bakterijski sojevi / *Bacterial strains*

Odabrane su tri bakterijske vrste rodova *Staphylococcus*, *Escherichia* i *Klebsiella*, i to klinički izolati vrsta *S. epidermidis*, *E. coli* i standardni soj *K. pneumoniae* Caroli O1:K2.

More / *Seawater suspension*

Kako bi se standardizirali uvjeti rada, za pripremu osnovnih suspenzija i kao medij u kojemu se pratio utjecaj električne struje na bakterije, poslužila je otopina sintetičke morske soli za morske akvarije Reef Crystals (Aquarium System, SAD) u destiliranoj vodi. Otopina je dobivena otapanjem 33 g soli u 1 L destilirane vode, i sterilizirana je autoklaviranjem.

Uređaj za proizvodnju istosmjerne struje / *Low amperage direct current apparatus*

Uređaj za proizvodnju istosmjerne struje niske jakosti konstruiran je u vlastitoj izvedbi (slika 1.).



Slika 1. Uređaj za proizvodnju istosmjerne struje s „elektrolizerom“

Fig. 1. The device for the production of direct current with „elektrolizer“

Sastoji se od transformatora, koji električni napon gradske mreže od 220 V pretvara u konstantni napon od 24 V, i ispravljača koji izmjeničnu struju pretvara u istosmjernu. Sadržava i posudu u kojoj se obavlja elektroliza („elektrolizer“), te elektrode, anodu i katodu, spojene na izvor istosmjerne električne struje.

Metode / *Methods*

Priprema i izračunavanje broja bakterija u osnovnoj suspenziji prije puštanja električne struje / *Preparation of the bacterial suspension*

Ispitivane bakterije nasadene su na krvni agar i kultivirane pri 37 °C tijekom 24 sata. Osnovne suspenzije svake od spomenutih bakterija pripremljene su neposredno prije izvođenja svakog pokusa. Bakterijska je suspenzija pripremana u volumenu od 40 ml priređene otopine morske soli. Približna koncentracija bakterija u pripremljenoj suspenziji određena je prema McFarland standardu br. 1, što bi odgovaralo približnom broju bakterija od 10⁹ CFU/ml. Točan broj bakterija je određen naciepljivanjem decimalnih razrjeđenja na krvni agar. Nakon 24 sata inkubacije na 37 °C izbrojene su porasle kolonije i izračunan je broj bakterija u osnovnoj suspenziji.

U posudu „elektrolizera“ stavljena je osnovna suspenzija razrijeđena s 360 ml standardizirane otopine morske soli, te je dobiven radni volumen od 400 ml.

Izlaganje bakterija električnoj struji i određivanje broja bakterija nakon njezina uključanja / *The influence of low amperage electric current on bacterial species at different time points*

Kao „elektrolizer“ služila je kadica, koja može biti od različitih materijala što ne provode struju. Elektrode su se približavale i udaljavale kako bi se postigla odgovarajuća, uvijek približno ista, vrijednost struje od oko 4,9 A. Generator istosmjerne struje bio je namješten na 24 V. Struju je puštena 5, 10, 15, i 20 sekunda. Njezin utjecaj u svakome od tih vremenskih intervala ispitivan je zasebno, na iznova pripremljenoj bakterijskoj suspenziji. Nakon isteka zadanoga vremena broj je bakterija određivan naciepljivanjem decimalnih razrjeđenja uzorka na krvni agar. Krvni je agar inkubiran pri 37 °C tijekom 24 sata, nakon čega je očitana broj poraslih kolonija.

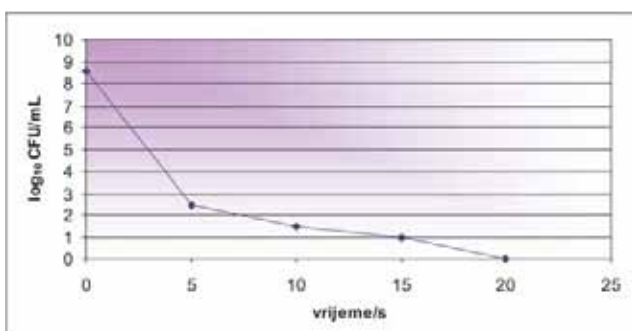
Izradba mikroskopskih preparata / *Microscopic slides*

Prije izlaganja navedenih bakterijskih vrsta električnoj struji i nakon njega pripremljeni su mikroskopski preparati tako da se mikrobiološkom ušicom zahvatila kap suspendiranih stanica, ona je izravno prenesena na predmetnicu i razvučena. Nakon sušenja preparati su fiksirani plamenom i obojeni su po Gramu, zatim su se analizirali s pomoću svjetlosnog mikroskopa Olympus BX51 (Olympus, Tokyo, Japan).

REZULTATI / *Results*

Koncentracija suspenzije *K. pneumoniae* u „elektrolizeru“ iznosila je 3,95 x 10⁸ CFU/ml. Nakon pet sekunda izlaganja

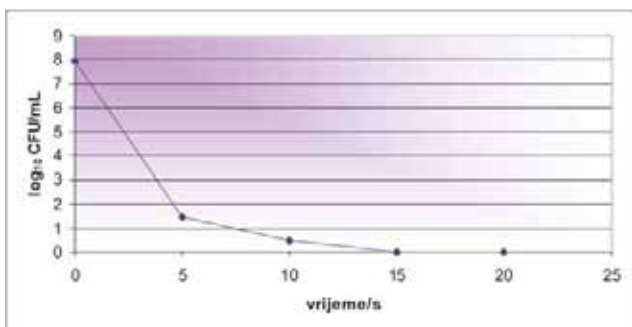
struji broj ispitivanoga bakterijskog soja reduciran je na 3×10^2 CFU/ml, a nakon dodatnih pet sekunda, na svega 30 CFU/ml. Puštanjem istosmjerne struje tijekom petnaest sekunda broj se bakterija gotovo u potpunosti reducirao. Naime, nakon inkubacije nacijspljenoga uzorka na krvnom agaru došlo je do porasta svega jedne kolonije iz 1 ml uzorka otopine iz „elektrolizera“. Izlaganje ispitivanoga bakterijskog soja struji dvadeset sekunda rezultiralo je potpunom eliminacijom kultivabilnih bakterija, što se lijepo vidi na grafičkom prikazu (slika 2.).



Slika 2. Preživljavanje vrste *Klebsiella pneumoniae* nakon puštanja struje

Fig. 2. The survival of the species *Klebsiella pneumoniae* after being in contact with electric current

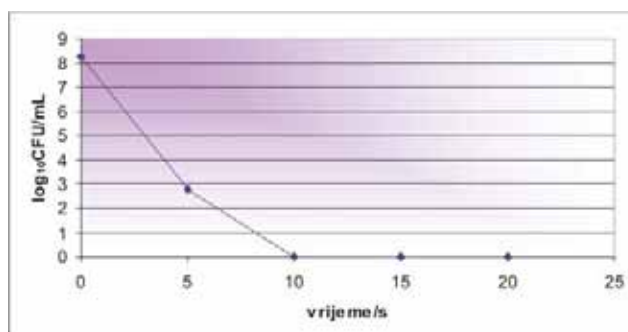
Početa koncentracija osnovne suspenzije *E. coli* koja je upotrijebljena u eksperimentu bila je 9×10^7 CFU/ml. Nakon puštanja istosmjerne struje jakosti od oko 4,9 A u trajanju od pet sekunda broj se bakterija smanjio na 30 CFU/ml. U vremenu od deset sekunda strujom je reduciran broj bakterija na svega 3 CFU/ml. Već nakon petnaest sekunda pri izlaganju bakterija istosmjerne struji od 4,9 A u otopini morske soli nije bilo kultivabilnih bakterija, što se vidi po izostanku porasta kolonija nakon uzgoja na krvnom agaru. Jednako tako, što se moglo i očekivati, i nakon 20 sekunda uzorci otopine mora ostali su sterilni (slika 3.).



Slika 3. Preživljavanje vrste *Escherichia coli* nakon puštanja struje

Fig. 3. The survival of the species *Escherichia coli* after being in contact with electric current

Početa koncentracija bakterijske suspenzije *S. epidermidis* u „elektrolizeru“ bila je 2×10^8 CFU/ml. Nakon puštanja istosmjerne struje jakosti od oko 4,9 A tijekom pet sekunda broj se bakterija, kao i za prethodne bakterije, smanjio na 6×10^2 CFU/ml. Međutim, već nakon deset sekunda tretmana strujom više nije bilo moguće dobiti porast bakterija vrste *S. epidermidis*, tj. u otopini nije bilo kultivabilnih bakterija kao ni nakon 15 i 20 sekunda (slika 4.).



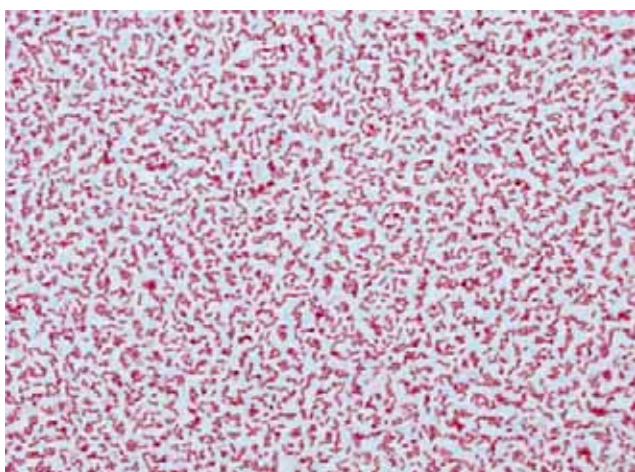
Slika 4. Preživljavanje vrste *Staphylococcus epidermidis* nakon izlaganja struji

Fig. 4. The survival of the species *Staphylococcus epidermidis* after being in contact with electric current

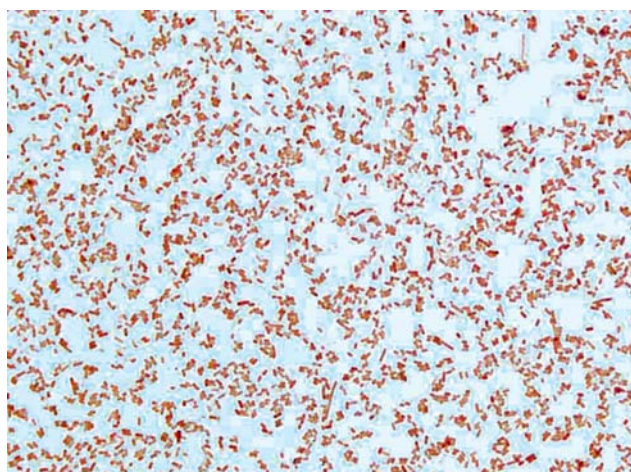
Dobiveni rezultati pokazuju da se izlaganjem bakterija istosmjerne električne struji u standardiziranoj otopini morske soli, njihov broj smanjuje, i to tako da dulja izloženost rezultira većim stupnjem redukcije broja bakterija.

Za svaku od ispitivanih bakterija utvrđeno je znatno opadanje broja preživjelih stanica po izlaganju struji u trajanju od pet sekunda u odnosu prema početnoj koncentraciji. Potpuna eliminacija vrste *S. epidermidis* uslijedila je nakon deset sekunda djelovanja struje, dok je apsolutna eliminacija preostalih dviju vrsta bila postignuta nakon petnaest, tj. dvadeset sekunda tretmana.

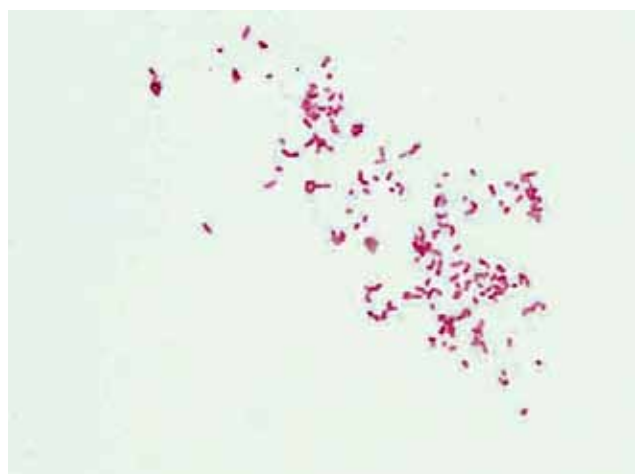
Mikroskopski preparat na slici 5. prikazuje *K. pneumoniae* prije izlaganja istosmjerne električne struji niske jakosti i nakon deset sekunda uporabe struje. Uočljiva je znatna redukcija broja bakterijskih stanica u suspenziji i bipolarno bojenje bakterija.



a)



a)



b)



b)

Slika 5. *K. pneumoniae* prije djelovanja istosmjerne struje niske jakosti (a) i nakon 15 sekunda djelovanja istosmjerne struje niske jakosti (b). Bojenje po Gramu (povećanje 1000x).

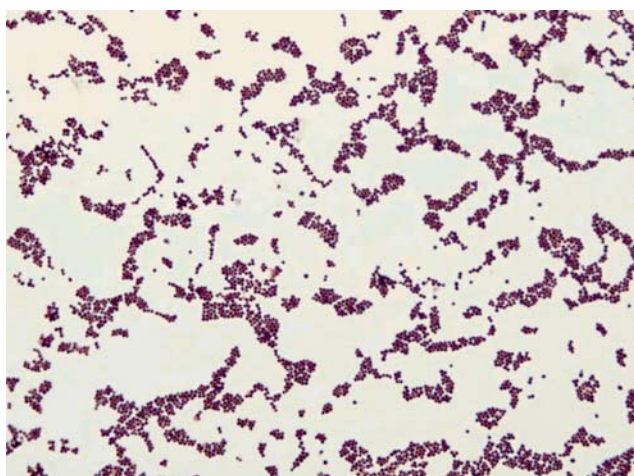
Fig. 5. K. pneumoniae before the impact of electric current of low amperage (a) and after 15 seconds of the influence of direct low amperage electric current (b). Gram painting 1000 times multiplied.

Slika 6. *E. coli* prije djelovanja istosmjerne struje niske jakosti (a) i nakon 15 sekunda djelovanja istosmjerne struje niske jakosti (b). Bojenje po Gramu (povećanje 1000x).

Fig. 6. E. coli before influence of direct low amperage electric current (a) and after 15 seconds of the influence of direct low amperage current (b). Painting according to Gram (multiplied by 100 times).

Na slici 6. mikroskopske su snimke *E. coli* prije i nakon deset sekunda tretmana. Uočljivo je da djelovanjem struje dolazi do znatne redukcije broja bakterijskih stanica i do koncentracije boje na polovima bakterijskih stanica.

Na slici 7. mikroskopski su snimci *S. epidermidis* prije i nakon deset sekunda tretmana istosmjernom strujom niske jakosti. Zapaža se znatna redukcija u broju bakterijskih stanica djelovanjem struje na suspenziju, a posljedično i smanjenje karakterističnih staničnih nakupina (grozdova).



a)



b)

Slika 7. *S. epidermidis* prije djelovanja istosmjernje struje niske jakosti (a) i nakon 10 sekunda izloženosti njezina djelovanja (b). Bojenje po Gramu (povećanje 1000x).

Fig. 7. *S. epidermidis* before the influence of direct low amperage current (a) and after 10 seconds of the exposure to its action (b). Painting according to Gram (multiplied by 100 times).

RASPRAVA / Discussion

Uz kondicioniranje vode za piće, različitim se metodama nastoji kontrolirati i mikrobiološko onečišćenje mora jer se brojne infekcije prenose upravo morskom vodom i ostalim rekreacijskim vodama, i to izravnim kontaktom s kontaminiranom vodom ili konzumacijom organizama uzgojenih u takvim vodama. Temelj za razvoj akvakulture leži u prepoznavanju i rješavanju problema što se pojavljuju u uzgoju, te u prevenciji i suzbijanju bolesti organizama u uzgajalištima. Ribnjaci i uzgajališta školjaka nisu izolirani ekosustavi pa je

nedvojbeno moguća njihova kontaminacija raznovrsnim potencijalno patogenim mikroorganizmima iz okolnoga mora i okoliša, koji onda mogu biti uzrokom obolijevanja riba i školjaka. Pri pojavi bolesti opravdana je uporaba lijekova (antibiotika), prvenstveno iz ekonomskih razloga, tj. radi sprječavanja širenja bolesti među populacijom, jer je ono lako moguće zbog ograničenoga životnog prostora, ali i radi prevencije bolesti u ljudi koji se hrane morskim organizmima. Međutim, iako se uporaba antibiotika pokazala učinkovitom u suzbijanju bolesti među ribama i školjkama, postoji problem razvoja rezistencije u mikroorganizmima pri dužem i češćem tretmanu.

Danas se sve veća pozornost pridaje istraživanjima novih metoda koje bi mogle poslužiti za redukciju broja mikroorganizama u vodama, a jedna od takvih je i dezinfekcija vode upotrebom električne struje niske jakosti. Pritom, mnoge su prednosti takve metode, a neke su od njih jednostavna i jeftina uporaba, jednostavna proizvodnja u trenutku i na mjestu primjene, elektroliza stanica bakterija i onemogućeno razvijanje otpornosti na djelovanje.

U našem istraživanju proučavali smo upravo metodu dezinfekcije morske vode istosmjernom električnom strujom niske jakosti. Kao što je rečeno, ova metoda koristi se strujom jakosti od svega nekoliko ampera, zbog čega je njezina uporaba uvelike olakšana a i troškovi su prihvatljivi. Kao eksperimentalni model za razmatranje dezinfekcijskog učinka „niskoamperne“ struje odabrane su vrste bakterijskih rodova *Staphylococcus*, *Escherichia* i *Klebsiella*, koje su reprezentativan primjer bakterija čovjekove fiziološke flore jer se nalaze i u čovjekovu okruženju, uključujući i vodene medije, pa mogu biti rizične po ljudsko zdravlje. Dobiveni rezultati pokazuju da se broj bakterija u standardiziranoj otopini morske soli smanjuju sukladno vremenskoj duljini izloženosti istosmjernoj struji niske jakosti u trajanju od 5, 10, 15, i 20 sekunda. Zapaženo je da se već nakon pet sekunda puštanja struje, broj bakterija za svaku ispitivanu vrstu znatno smanjuje, a djelovanje struje u trajanju od 20 sekunda u potpunosti reducira broj svake ispitivane bakterije. Razlika u osjetljivosti među ispitivanim bakterijama uočena je nakon deset sekunda izlaganja struji. Naime, po isteku tog vremena nije bilo moguće dobiti porast bakterija vrste *S. epidermidis*, dok je broj bakterija vrsta *K. pneumoniae* i *E. coli* dosljedno opadao. Iz toga izlazi da je bakterijska vrsta *S. epidermidis* osjetljivija na tretman strujom od dviju preostalih.

Takav nalaz može se pokušati objasniti razlikama u građi bakterijskih stanica. *S. epidermidis* je gram pozitivna bakterija, koja redovito nema kapsulu, osim

ponekad u trenutku diobe u osjetljivom organizmu, dok se u laboratorijskim uvjetima ona vrlo brzo gubi (Kalenić, Mlinarić-Misoni, 2005.). Ostale dvije vrste bakterija su gram negativne i imaju kapsulu, pa rezultati našega eksperimenta pokazuju njihovu bolju otpornost na tretman strujom, i zato pretpostavljamo da bi upravo građa stijenke i kapsula mogle biti odgovorne za takav obrazac preživljavanja. Sljedeća razlika odnosi se na vrijeme potpune redukcije bakterija *K. pneumoniae* i *E. coli*. Do potpune redukcije broja *E. coli* dolazi nakon petnaest sekunda, a *K. pneumoniae* nakon dvadeset sekunda izlaganja istosmjernoj struji. *E. coli* u našem eksperimentu je klinički izolat iz urina, dok je *K. pneumoniae* soj Caroli antigene strukture O1:K2. Kapsula toga soja vrlo je izražena pa bi upravo ta činjenica mogla biti razlogom da *Klebsiella* bolje podnosi tretman strujom i dulje preživljava od *E. coli*.

Naznačeni rezultati pokazali su da vrijeme izlaganja struji značajno utječe na inaktivaciju mikroorganizama. Neki autori ističu kako izlaganje struji u različitim eksperimentalnim uvjetima ne dovodi do promjena temperature medija, što govori u prilog tezi da je dezinfekcija električnom strujom netermalna metoda i da letalan učinak na bakterije nije toplinski (Park i dr., 2003.; Zvitov i dr., 2004.).

Utjecaj električne struje na ispitivane bakterijske vrste provjeren je i mikroskopom. U preparatima je uočljiv dramatičan pad u broju bakterijskih stanica u usporedbi s onima prije tretmana. Isto tako može se zapaziti i bipolarno bojenje bakterija, nadasve uočljivo za vrste *E. coli* i *K. pneumoniae*. Rezultati su sukladni dosad poznatim literaturnim podacima koji govore o redukciji broja mikroorganizama, ali i promjenama u propusnosti bakterijske stijenke, što bi moglo biti razlogom bipolarnom bojenju uočenome u našim preparatima. Malo se toga zna o tome što se zapravo događa u stanici i njezinoj membrani na molekularnoj razini zbog učinka istosmjerne struje. Ima više teorija koje objašnjavaju moguće mehanizme djelovanja električne struje, a sve uglavnom zagovaraju tezu da dolazi do prijeloma bakterijske membrane ili elektrolize površinskih molekula. Među nekoliko teoretskih modela najviše su prihvaćeni tzv. dielektrični lom i elektroporacija, mehanizmi što se očituju promjenama u strukturi i propusnosti membrane nakon izlaganja bakterijskih stanica vanjskome električnom polju (Hui i dr., 2006.). Na taj se način u stanicu mogu unijeti različite molekule za koje je inače stanična membrana nepropusna, ali može doći i do istjecanja intracelularnog sadržaja bakterijske stanice, što posljedično dovodi do smrti bakterije. Kod oba mehanizma promjene na

membrani mogu biti reverzibilne ili ireverzibilne ovisno o jakosti električnog polja, trajanju tretmana, veličini stanice, površinskom naboju stanice itd.

Velik je interes za istraživanje utjecaja električne struje niske jakosti na bakterijske stanice kao potencijalne metode za redukciju broja bakterija u različitim materijalima, medijima i njihovoj okolini. Jedna od objavljenih studija istraživala je letalni učinak struje niske jakosti na mikroorganizme u prirodnoj morskoj vodi i morskoj vodi u koju je inokulirana bakterijska suspenzija *Vibrio parahaemolyticus* (uzročnik trovanja hranom u ljudi). U oba slučaja broj bakterija u moru u potpunosti je eliminiran u 100 ms uporabom struje jakosti od 0,5 A i napona od 12 V (Park i dr., 2003.). U svojim smo se pokusima koristili strujom višeg napona i veće jakosti, što je nakon duljeg izlaganja dovelo do potpunog izostanka rasta bakterija, ali su odabrane i druge bakterijske vrste, pa i manje sofisticiran uređaj za tretman. To bi moglo objašnjavati razlike između naših rezultata i opisanih podataka iz literature. Bez obzira na te razlike dobiveni rezultati također potvrđuju učinkovitost antibakterijskog tretmana električnom strujom niske jakosti i njegovu potencijalnu praktičnu primjenjivost.

Druga skupina autora proučavala je utjecaj istosmjerne električne struje na bakterijske stanice u želatinoznom mediju (gel). Gelovima se koristi u industriji hrane, implantantima, u izradbi leća, za konstrukciju umjetnih mišića, a imaju i druge biomedicinske uporabe. Takvi gelovi moraju biti sterilni ili mogu sadržavati manji broj apatogenih bakterija. Iako se za redukciju bakterijske kontaminacije u gelovima koristi uglavnom raznovrsnim konvencionalnim metodama, električna je struja također tu zastupljena, i to uglavnom u industriji medicinskih proizvoda i prehrambenoj industriji. U jednome od istraživanja na tom polju koristilo se istosmjernom strujom niske jakosti za redukciju broja bakterija vrsta *E. coli* i *Serratia marcescens* uklopljenih u agarozu i alginat. Rezultati su pokazali da se bez porasta temperature broj bakterija uklopljenih u gelove smanjuje za 99% (Zvitov i dr., 2004.).

Zaključno, metoda izlaganja bakterija istosmjernoj struji ima potencijalne prednosti pred drugim metodama redukcije broja mikroorganizama, zbog svoje visoke učinkovitosti, letalnog učinka na bakterijske stanice u samo nekoliko sekunda i jednostavnosti u primjeni. Moguća primjenjivost metode obuhvaća različita područja, pa bi se mogla upotrijebiti kao zamjena ili dopuna godinama upotrebljivanih kemijskih metoda dezinfekcije.

ZAHVALE / Acknowledgments

Zahvaljujemo poštovanom gospodinu Antonu Brdaru, koji je konstruirao i ustupio uređaj za proizvodnju istosmjerne električne struje. Istraživanje je provedeno u Zavodu za mikrobiologiju i parazitologiju Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, kao dio projekta Ministarstva znanosti obrazovanja i športa, br. 062-0621273-0951, voditelja prof. dr. sc. Tomislava Rukavine.

LITERATURA / References

Blatchley, E. R., et. al. (2001.), Bacterial responses to ultraviolet irradiation. *Water Science and Technology*, 43, 179 - 186.

Cooper, R. C., Danielson, R.E. (2002.), Detection of bacterial pathogens in wastewater and sludge. U: Hurst, C.J., Crawford, R.L., Knudsen, G.R., McInerney, M.J., Stetzenbach, L.D. *Manual of environmental microbiology*. 2. izd. Washington: ASM Press, p. 254 - 263.

Duraković, S. (1996.), *Primijenjena mikrobiologija*. Prehrambeno tehnološki Inženjering, Zagreb, Hrvatska

Hui, Y. H., Barta, J., Cano, M. P., Gusek, T., Sidhu, J. S., Sinha, N. H. (2006.), *Handbook of fruits and fruit processing*. 1. izd: Blackwell Publishing, p. 95.

Kalenić, S., Mlinarić-Misoni, E. (2005.), *Medicinska bakteriologija i mikrobiologija*. Merkur A. B. D., Zagreb, Hrvatska

Park, L. , et. al. (2003.), Inactivation of bacteria in seawater by low-amperage electric current. *Applied And Environmental Microbiology*, 69, 2405 - 2408.

Rabinovitch, C., Stewart, P. S. (2006.), Removal and inactivation of *Staphylococcus epidermidis* biofilm by electrolysis. *Applied And Environmental Microbiology*; 72, 6364 - 6366.

Smith, M. C., et. al. (2000.), Effects of simulated solar disinfection of water on infectivity of *Salmonella typhimurium*. *Letters in Applied Microbiology*, 31, 284 - 8.

Van der Borden, A. J., et. al. (2004.), Electric current-induced detachment of *Staphylococcus epidermidis* biofilms from surgical stainless steel. *Applied And Environmental Microbiology*, 70, 6871 - 4.

Zvitov, R., et. al. (2004.), Short duration low direct current electrical field treatment is a practical tool for considerably reducing counts of gram negative bacteria entrapped in gel beads. *Applied And Environmental Microbiology*, 70, 3781 - 3784.

Rukopis primljen: 1. 6. 2010.

