

SVETLOBNA TERAPIJA ZA ZDRAVLJENJE OPEKLINSKE RANE *LIGHT THERAPY FOR HEALING BURN WOUNDS*

Aleksander Zupanc, dipl. fiziot., Nataša Kic, dipl. m. s., Mateja Horjak, dipl. m. s.,
Jožica Podbevšek, dipl. fiziot., asist. dr. Katarina Tonin, dr. med.
Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

Izvleček

Svetlobna terapija se vse pogosteje uporablja kot dodatek k drugim medicinskim postopkom zdravljenja ran. Primer prikazuje 47-letnega bolnika po globokih opeklinah glave, rok in trupa. Odprte opekline rane na glavi in v sprednjem delu komolca smo zdravili s svetlobno terapijo petkrat tedensko po 10 minut. Za celjenje opeklin rane smo uporabili polarizirano, nekoherentno, nizko energijsko vidno svetlobo (valovna dolžina od 480 do 3400 nm, stopnja polarizacije 95 %, specifična energetska gostota 40 mW/cm², energijska svetloba na minuto 2,4 J/cm² na razdalji 10 centimetrov od kože). Skupna površina ran na glavi pred obsevanjem je bila 25,1 cm², po 15 obsevanjih pa 1,5 cm²; v sprednjem delu komolca je bila površina rane pred obsevanjem 18,5 cm², po 15 obsevanjih pa 3,6 cm². Rana na glavi se je zacelila v štirih tednih, rana na roki pa v petih tednih. Obe smo zdravili s svetlobno terapijo še teden dni po zacelitvi za utrditev epitelizacije. Prikaz primera je pokazal, da je zdravljenje opekline rane s pomočjo svetlobne terapije lahko uspešno.

Ključne besede:

celjenje ran, fotobiostimulacija, fototerapija, opekline rane

Abstract

The use of light therapy as additional therapy for healing of wounds is increasing. This case presents a 47-year old patient with deep dermal burns on the head, hands and trunk. Open burn wounds on the head and in the front part of the elbow were treated with light therapy five times a week for 10 minutes. We used polarized, incoherent, low-level visible light (wave length 480 – 3400 nm, degree of polarization 95 %, power density 40 mW/cm², light energy 2.4 J/cm² at 10 cm distance of from the skin). The surface of wounds on the head was 25.1 cm² before and 1.5 cm² after 15 sessions of light therapy. The wound surface on the anterior part of the elbow was 18.5 cm² before and 3.6 cm² after 15 sessions of light therapy. The wound on head has healed in four weeks; the wound on elbow has healed in five weeks. Light therapy was continued for another week after healing for better epithelialisation. This case report showed that the healing of burn wound with light therapy could be successful.

Keywords:

burn wounds, photobiostimulation, phototherapy, wound healing

UVOD

Z izpostavljanjem naravni sončni svetlobi so rane zdravili že med prvo in drugo svetovno vojno (1). Helioterapijo so uporabljale že starodavne kulture, med njimi stari Grki, stari Egipčani in stari Rimljani (2). Z razvojem znanosti in z novimi odkritji o učinkih svetlobe se je razširila uporabnost svetlobne terapije kot učinkovite, dopolnilne metode zdravljenja z drugimi medicinskimi postopki (3).

Celjenje ran je sosledje celičnih dogodkov in sproščanje biološko aktivnih snovi (4), pri tem pa sodelujejo številni dejavniki (5). Gre za neprekinjen proces od trenutka prekinitve tkiva do razvoja zrele brazgotine (5). Celjenje ran poteka v štirih obdobjih (5). Prvo obdobje je hemostatsko, drugo je obdobje čiščenja, tretje je produktivno ali proliferativno obdobje in zadnje je obdobje epitelizacije (obdobje zorenja) (5, 6). Da se procesi celjenja zaključijo, morajo celične aktivnosti posameznih faz potekati nemoteno.

Faza hemostaze traja nekaj minut. Faza čiščenja poteka do štiri dni po nastanku rane. Pomembno vlogo v tej fazi imajo granulociti in makrofagi, ki rano čistijo. Za uničenje bakterij je pomembna zadostna oksigenacija v lokalnem tkivu, oziroma dovolj visoka koncentracija kisikovih prostih radikalov. Faza proliferacije se začne po štirih dneh in traja do 21 dni. V tem obdobju nastajajo nove kapilare, vezivno tkivo in epitelij. Pomembno vlogo odigrajo makrofagi, ki izločajo rastne faktorje. Ustvarja se granulacijsko tkivo, fibroblasti proizvajajo fibrinsko mrežico in kolagen. Faza epitelizacije traja do dveh let po nastanku rane (6).

V procesu celjenja ran lahko pride do motenj zaradi različnih zaviralnih dejavnikov. Ti so lahko lokalni in sistemski. Med lokalne dejavnike sodijo okužbe rane in nezadostna oksigenacija tkiv. Med sistemske dejavnike pa prištevamo starost, stres, hormone, sladkorno bolezen, zdravila (glukokortikoidi, protivnetna zdravila), debelost, uživanje alkohola, kajenje, neustrezno prehrano, maščobne kisline, zmanjšan vnos ali povečano izločanje albuminov, hipovitaminoze zaradi pomanjkanja vitaminov A, C, D, obsevanje, zmanjšana koncentracija mikroelementov ter drugo (5). Naštete motnje proces celjenja podaljšajo. Motnje v enem od obdobj celjenja rane zaraščanje ustavijo, zato akutna rana postane kronična (6). Motnje celjenja so lahko prisotne pri opeklinških ranah (7) in golenskih razjedah zaradi venskega zastoja (8).

Fotobiostimulacija je mehanizem vsrkavanja vidne svetlobne energije preko mitohondrijev, ki vplivajo na intenzivnost celičnega metabolizma in tako pospešijo proliferativno fazo celjenja (9 – 11). Učinki fototerapije na celice so primarni, sekundarni in terciarni (9, 12). *Primarni učinki* so vzbujeni neposredno s svetlobo. Svetlobno telo oddaja fotone, ki dosejajo mitohondrije in celične membrane nizko ležečih celic (fibroblasti, keratinociti ali endoteljske celice). Energija fotonov se absorbira v kromoforah in se pretvori

v kemično energijo v celicah. Nastanejo spremembe propustnosti celične membrane za različne ione in izboljšanje oksidacijskih procesov in metabolizma (13). Primarnim učinkom sledijo *sekundarni učinki*, kot so povečanje sinteze proteinov in citokinov, porast baktericidne dejavnosti in aktivacija celične proliferacije. Sekundarne reakcije aktivirajo kalcij, ki spodbudi celični metabolizem in regulacijo signalnih poti, odgovornih za dogodke, ki so potrebni za celjenje ran (migracija celic, RNA in DNA sinteza, celična mitoza, izločanje proteinov, celična proliferacija). *Terciarni učinki* se kažejo v pospešenem celjenju ran, izboljšanju mikrocirkulacije in imunskem odzivu s povečanim delovanjem makrofagov in limfocitov. Večja tvorba endorfinov in zmanjšanje bradikininov pa delujeta protibolečinsko (12).

Vpliv svetlobne terapije in hrane na celjenje ran so potrdili tudi pri podganah (14). Ugotovili so, da hrana, bogata z beljakovinami, vpliva na hitrejšo celjenje rane, nasprotno pa pomanjkanje beljakovin negativno vpliva na tvorbo proteinov v rani in tvorbo kolagena (14). Poročali so tudi o pozitivnih učinkih energijsko manjših doz svetlobnega valovanja, ki jo nudi bioptron – ugotovili so boljšo produkcijo kolagenskih vlaken in boljšo organizacijo tkiva tako pri rejenih kot tudi pri sestradanih podganah (14). Bolton in sod. so poročali o vplivu svetlobne terapije na celice, ki sodelujejo v procesu celjenja ran (15). Centralno vlogo pri celjenju ran igrajo makrofagi. Zaradi obsevanja s svetlobo makrofagi pospešeno izločajo rastne faktorje, ki so pomembni za fazo proliferacije. Polarizirana svetloba spodbuja tudi pospeševanje endogenega očiščenja z odstranjevanjem mikroorganizmov in ostankov celičnih snovi. Omogoča kakovostnejšo granulacijo s ponovno vaskularizacijo in tvorbo kolagena. Hitrejša je tudi epitelizacija s pospešitvijo proliferacije in migracije epiteljskih celic, ki lahko izvirajo iz okolice rane (15). Polarizirana svetloba ima vpliv tudi na proizvodnjo multifunkcionalnih citokinov, ki pospešujejo celjenje ran (16).

Več avtorjev je poročalo o pomembnih biostimulativnih značilnostih svetlobe (10, 16, 17). Karu je poročala, da so za biostimulativne učinke pomembne valovna dolžina svetlobe, gostota energije in intenzivnost (10). Mester in sod. so nasprotno poročali, da valovna dolžina ne igra vloge pri učinkih celjenja (17). Fenyo in sod. so ugotovili, da je za biostimulativne učinke pomembna polarizirana svetloba, ki vpliva na spremembo propustnosti celičnih membran (16). Poročali so tudi, da biostimulativni učinek pospeši količinsko povečanje imunoglobulinov in drugih proteinov, kar povzroči hitrejše celjenje (16). Ugotovili so, da so makrofagi ključne celice pri celjenju, ki reagirajo na biostimulativne učinke obsevanja s svetlobo (16). Bolton in sod. so poročali, da se je zaradi izpostavljenosti polarizirani svetlobi povečalo sproščanje rastnih faktorjev, ki spodbujajo procese razraščanja in proizvodnjo kolagena (15).

Opeklinške rane so kronične rane in imajo dolgotrajen čas celjenja (7). Za kronične rane je značilno, da imajo podaljšano ali poudarjeno vnetno fazo, pogosteje so prisotne tudi

motnje v odzivanju na procese celjenja v dermalnih in epidermalnih celicah, ki celjenje upočasnijo ali ustavijo (18). Najpogostejši vzroki, ki ustavijo celjenje ran, so hipoksija, prisotnost mrtvin, okužbe in sistemski vzroki. Uspešno zdravljenje kroničnih ran zahteva poznavanje faz celjenja. Pomembno je odstraniti odmrlo tkivo znotraj rane in v njeni okolici, zdraviti okužbe z antibiotiki in protivnetnimi ukrepi, vzpostaviti ravnovesje vlažnosti rane in pospešiti epitelizacijo in granulacijo s postopki, ki pospešijo tvorbo rastnih faktorjev (18).

S prikazom primera bolnika z odprtimi opeklinjskimi ranami smo želeli predstaviti vpliv svetlobne terapije na celjenje opeklinjskih ran.

METODE

Opis bolnika

Preiskovanec je 47-letni moški, ki se je tri mesece pred pričetkom naše obravnave poškodoval med brušenjem bencinskega tanka s posledičnim vnetjem bencina. Gospod je utrpel globoke in povrhnje opekline zgornjih udov, trupa in glave, ki so pokrivalo 28 % površine telesa. Zaradi toplotne izpostavljenosti je prišlo do težke okvare muskulokutanega in radialnega živca ter blažje okvare ulnarne in mediane živca desnice. Po stabilizaciji splošnega zdravstvenega stanja so na Kliničnem oddelku za plastično, rekonstrukcijsko, estetsko kirurgijo in opekline Univerzitetnega kliničnega centra v Ljubljani opravili operativno odstranitev mrtvin s področij ran in kritje kožnih defektov s kožnimi presadki. Po končanem zgodnjem zdravljenju in rehabilitaciji je bolnik rehabilitacijo nadaljeval na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu RS (URI Soča), kjer smo v okviru celostne rehabilitacije zdravili tudi rane na glavi in sprednjem delu levega komolca.

Pred poškodbo je bil gospod zdrav in redno ni jemal zdravil. Med zgodnjim potekom zdravljenja je imel zaradi tahikardije in zvišanega krvnega tlaka uvedeno terapijo z beta blokatorjem in zaviralcem angiotenzinske konvertaze, ob tem je prejemal še zaviralce protonske črpalke za zaščito želodčne sluznice ter analgetično terapijo s kombinacijo tramadola in paracetamola. Ob sprejemu na naš oddelek je prejemal preventivno antibiotično terapijo z amoksicilinom in klavulansko kislino v skupnem trajanju 14 dni. Med zdravljenjem na URI Soča je prejemal še petdnevno antibiotično terapijo s ciprofloksacinom zaradi uroinfekta. Odprte rane in rane po glavi smo dnevno oskrbovali z mazilom, ki je vsebovalo srebrov sulfadiazin, kožo po telesu pa smo mazali z mastnim ali hladilnim mazilom. Normalno uravnoteženi prehrani smo dodali še vitamine B kompleksa in vitamin C.

Gospod je imel ugotovljeno tudi kolonizacijo z večkratno odpornimi bakterijami *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter cloacae* ESBL ter *Klebsiella*

pneumoniae ESBL, zaradi česar je bilo pri obravnavi bolnika potrebno upoštevati pravila kontaktne izolacije.

Pred poškodbo je bil gospod samostojen v dejavnostih vsakodnevnega življenja, redno zaposlen in brez motenj v funkciji. Ob sprejemu na naš oddelek so bile prisotne močne omejitve gibljivosti zgornjih udov, predvsem levega komolca, odsotna je bila moč mišice biceps brachii ter iztegovalk zapestja in prstov desno ter oslABLJENA moč upogibalk prstov in zapestja ter lumbričnih mišic desno. Gospod je bil ob tem samostojno hodeč brez dodatne opore in delno samostojen v dejavnostih vsakodnevnega življenja. Ob odpustu je izboljšal pasivno in aktivno gibljivost zgornjih udov, pridobil je na hitrosti hoje in se osamosvojil v dejavnostih vsakodnevnega življenja z drobnimi ortotskimi pripomočki.

Postopki zdravljenja s fototerapijo

Za fototerapijo odprtih opeklinjskih ran smo uporabili svetlobo, ki jo proizvaja svetlobna lučka Bioptron 2 (Švica Bioptron AG). Premer filtra svetlobne lučke meri 15 centimetrov, napajanje od 100 do 240 V, 50/60 Hz, poraba električne energije od 1,4 do 1,0 A, nazivna moč halogenske svetilke je 90 W, teža lučke brez stojala je 4,3 kg, valovna dolžina je od 480 do 3400 nm, stopnja polarizacije je > 95 % (590 – 1550 nm), specifična energetska gostota je 40 mW/cm², energijska svetloba na minuto je 2,4 J/cm² na razdalji 10 centimetrov od kože (19, 20).

Svetloba iz svetlobne lučke Bioptron ima vidni in NIR del elektromagnetnega spektra in vpliva na fotobiostimulacijo celic. Svetlobna lučka Bioptron je medicinski pripomoček s posebno optično enoto, ki oddaja svetlobo, podobno delu elektromagnetnega spektra, ki ga naravno proizvaja sonce. Značilnosti svetlobe iz svetlobne lučke Bioptron so polarizacija, nekoherentnost, polikromatičnost in nizka energija. Polarizacija pomeni, da se svetlobni valovi gibljejo na vzporednih ravneh. Nekoherentnost pomeni, da svetlobni valovi niso sinhronizirani. Vsak svetlobni žarek oscilira ob svoji valovni dolžini in amplitudi. Polikromatičnost pomeni, da je svetloba v območju vidne svetlobe (valovna dolžina od 480 nm do 3400 nm) in delu blizu infrardeče svetlobe (valovna dolžina od 780 do 1500 IRA in od 1500 do 3400 IRB) in ne vsebuje ultravijolične svetlobe, ki je odstranjena s posebnim filtrom (19, 20).

Pred prevezo rane in svetlobne terapije rane se je bolnik tuširal. Po tuširanju je diplomirana medicinska sestra rano sterilno očistila. Za sterilno čiščenje rane je potreben sterilni set za prevezo rane. Set vsebuje obveze, gobice, zložence, prijemalko. Poleg tega je potrebna fiziološka raztopina, povoj, lepilni trak, rokavice, ledvička in vrečka za odpadke. Po sterilnemu čiščenju rane je fizioterapevt namestil lučko za izvajanje svetlobne terapije. Svetlobni žarek je bil usmerjen na površino rane pravokotno (90°) in na razdalji 10 cm. Mesto rane je bilo obsevano vsak dan po deset minut, petkrat tedensko. Prvo obsevanje je trajalo pet minut. Rane na glavi

smo obsevali štiri tedne do zaprtja rane in dodatni teden za utrditev epitelizacije. Rano na sprednjem delu komolca smo obsevali pet tednov do zaprtja rane in dodatni teden dni za utrditev epitelizacije.

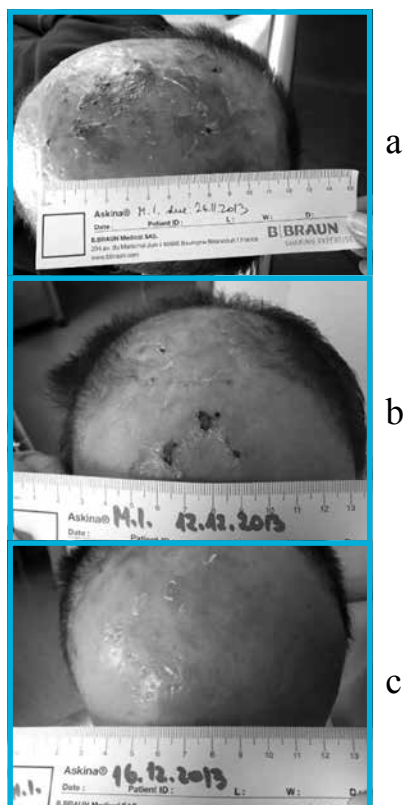
Postopki ocenjevanja

Celjenje ran smo spremljali s fotografiranjem. Velikost ran smo spremljali z odvzemom obrisov površine neposredno iz rane s pomočjo prozorne folije in flomastra.

REZULTATI

Na Sliki 1 so prikazane rane na glavi pred začetkom svetlobne terapije, po 14 obsevanjih in po zacelitvi ran na glavi. Na Sliki 2 so prikazane rane na sprednjem delu komolca pred začetkom svetlobne terapije, po 16 obsevanjih in po zacelitvi rane.

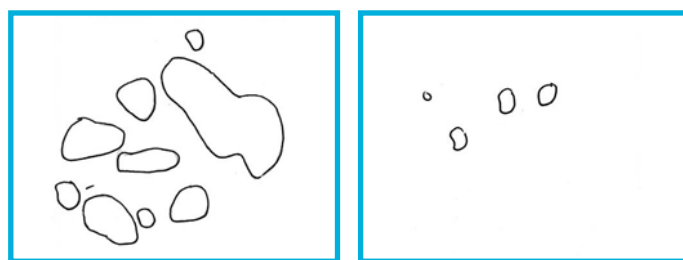
Pri bolniku smo po 15 dneh obsevanja ran na glavi dosegli 93,8 % zmanjšanje površine rane. Rana na sprednjem delu komolca pa se je po 20 dneh obsevanja zmanjšala za 98,8 %. Na Slikah 3 in 4 so prikazane spremembe v velikosti rane na glavi in na sprednjem delu komolca. Skupna površina ran, ocenjena s pomočjo odvzetih obrisov površine neposredno iz rane, je bila pred obsevanjem na glavi 25,1 cm², na sprednjem delu komolca pa 18,5 cm². Slika 5 prikazuje razliko v velikosti skupne površine rane na glavi in sprednjem delu komolca pred obsevanjem in po 15 obsevanjih.



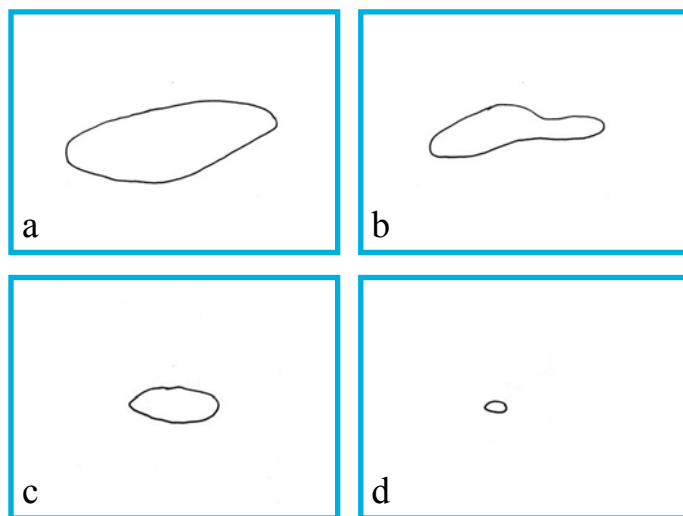
Slika 1: Rane na glavi pred obsevanjem (a), po 14 obsevanjih (b) in po zacelitvi (c).



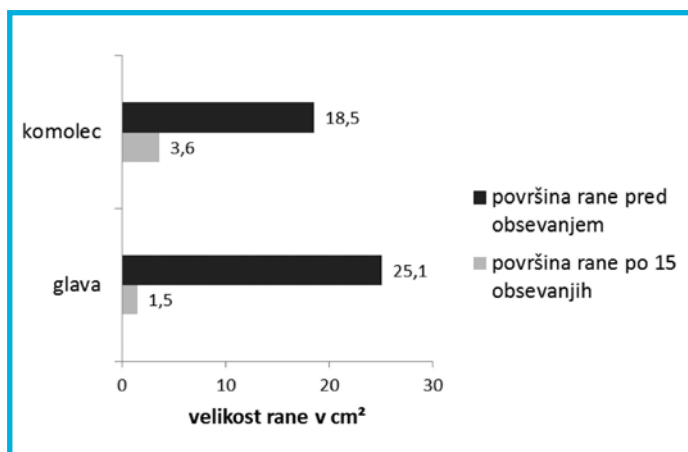
Slika 2: Rana na sprednjem delu komolca pred obsevanjem (a), po 16 obsevanjih (b) in po zacelitvi rane (c).



Slika 3: Velikost in število ran na glavi pred obsevanjem (levo) in po 12 obsevanjih (desno).



Slika 4: Velikost rane na sprednjem delu komolca pred obsevanjem (a), po 8 obsevanjih (b), po 15 obsevanjih (c) in po 20 obsevanjih (d).



Slika 5: Zmanjšanje velikosti rane na glavi in na sprednjem delu komolca po 15 obsevanjih.

RAZPRAVA

Za zdravljenje odprtih opeklinjskih ran na glavi in roki smo pri našem bolniku uporabili svetlobno terapijo, ki so jo za celjenje opeklinjskih ran uspešno uporabili tudi drugi avtorji (7, 21). Vrste ran, pri katerih v literaturi poročajo o ugodnem učinku celjenja zaradi fotobiostimulacije, so razjede, opeklino, kožne donorske površine in pooperativne rane (12).

Pri našem bolniku smo po 15 dneh obsevanja ran na glavi in po 20 dneh obsevanja rane na sprednjem delu komolca dosegli skoraj popolno zacelitev. Tudi drugi avtorji so poročali o določenem zmanjšanju površine ran po uporabi fotobiostimulacije, vendar naših opazovanj ne moremo povsem primerjati z njimi, saj rane niso bile enake. Janković in sod. so poročali o 16,7-odstotnem zmanjšanju površine rane po sedmih dneh pri golenskih razjedah, po 25 dneh obsevanja pa o 50,2-odstotnem zmanjšanju površine rane (8). Svetlobno lučko Bioptron sta pri zdravljenju venskih razjed nog uporabila tudi Medenica in Lens (20). Poročala sta o značilnih spremembah pri ponovni epitelizaciji in proliferaciji granulacijskega tkiva ter tvorbi kolagena po treh tednih obravnave, opisala sta tudi zmanjšanje površine rane po svetlobni terapiji (20).

Monstrey in sodelavci so poročali o pozitivnih učinkih polarizirane svetlobe v procesu celjenja opeklinjskih ran (7). Polarizirana svetloba je vplivala na zmanjšanje hipertrofije brazgotin pri globokih kožnih opeklinah, prav tako na hitrejšo epitelizacijo ran, skrajšal se je čas celjenja ran in povečala se je trdnost brazgotin (7). Opazili so značilne spremembe na ranah 15 bolnikov z zahtevnimi opekljami po štirih dneh fototerapije in izboljšanje opisali na ravni stopnje epitelizacije, kakovosti granulacije tkiva, stopnji vnetja, subjektivnem občutenju bolnika in zgodnji tvorbi kožne brazgotine (7).

Colić in sodelavci so poročali o vplivu Bioptron svetlobe na pospešeno zmanjšanje pooperativnih simptomov in bolečine

(22). Manj pomemben, vendar omembe vreden pa je bil za bolnike tudi pozitiven psihološki učinek uporabe svetlobne terapije (22). Tudi naš bolnik je izrazil, da mu zdravljenje s svetlobno terapijo veliko pomeni, saj je opazil očitno zmanjšanje opeklinjske rane po obsevanju.

Nizka gostota energije svetlobe iz svetlobne lučke Bioptron ima v primerjavi z drugimi svetlobnimi telesi učinke biostimulacije, je neinvazivna in brez potrebe po varnostnih standardih. Hkrati nudi možnosti večjega področja obsevanja in enostavno nameščanje (23). Monstrey in sodelavci so poročali, da je bila fototerapija pri bolnikih vrednotena kot dobra v 97,6 % v primerjavi z drugimi konservativnimi obravnavami (7). Rezultati klinične študije so pokazali, da svetlobna terapija zmanjša potrebo po operativnih posegih pri zdravljenju globokih kožnih opekljin (7). Pomembno je tudi to, da se fizioterapija lahko začne in nadaljuje med fototerapijo, medtem ko pri operativnih posegih na rokah imobilizacija velik del fizioterapevtskih postopkov omeji ali onemogoči (7). Slednje smo s pridom izkoristili tudi pri našem bolniku, saj smo pred posamezno epizodo obsevanja opravili tudi vse potrebne fizioterapevtske postopke.

ZAKLJUČEK

Prikaz primera je pokazal, da je zdravljenje opeklinjske rane s pomočjo svetlobne terapije lahko uspešno in preprosto. Menimo, da se - kljub v literaturi ugotovljenim biostimulativnim učinkom v procesu celjenja ran - v klinični praksi ta metoda premalo uporablja. Predstavili smo primer dobre prakse zdravljenja opeklinjske rane s svetlobno terapijo v okviru sočasne celostne rehabilitacijske obravnave. Glede na to, da smo predstavili posamezen primer, se zavedamo pomanjkljivosti študije in omejitve pri interpretaciji rezultatov. Za natančno oceno doprinosa k zdravljenju opeklinjskih ran s svetlobno terapijo bi bila potrebna kontrolirana randomizirana prospektivna študija, v katero bi vključili večje število bolnikov oz. bi učinek fototerapije opazovali pri istem bolniku, ki bi mu del ran obsevali, drugi del ran pa prepustili naravnemu poteku celjenja. Potrebno bi bilo ločiti tudi med učinkom terapije s svetlobo in učinki ostalih delov rehabilitacijske obravnave, vključno z vplivom prehrane in kinezioterapije.

Literatura:

- Butter MJ, et al. Partial heliotherapy and wounds of war. Br J Nurs 1915; 67-8. Dostopno na <http://rcnarchive.rcn.org.uk/data/VOLUME055-1915/page067-volume55-24thjuly1915.pdf> (citirano 10. 12. 2014).
- Bloch H. Solartheology, heliotherapy, phototherapy, and biologic effects: a historical overview. J Natl Med Assoc 1990; 82: 517-21.
- Smrke DM. Fotobiomodulacija - pogled v prihodnost. V: Frangež I, Frangež HB, ur. Svetlobna terapija v me-

- dicini – fotobiomodulacija. 1. simpozij Slovenskega združenja za fotomedicino in fotobiologijo, Ljubljana, 20. oktober 2012. Ljubljana: Slovensko združenje za fotomedicino in fotobiologijo, 2012: 5–16.
4. Collier M. Understanding wound inflammation. *Nurs Times* 2003; 99: 63–4. Dostopno na <http://www.nursing-times.net/Journals/2012/11/09/l/f/s/030624Understanding-wound-inflammation.pdf> (citirano 10. 12. 2014).
 5. Guo S, DiPietro LA. Factors affecting wound healing. *J Dent Res* 2010; 89: 219–29.
 6. Singer AJ, Clark RAF. Cutaneous wound healing. *New Engl J Med* 1999; 341: 738–46.
 7. Monstrey S, Hoeksema H, Saelens H, Depuydt K, Hamdi M, et al. A conservative approach for deep dermal burn wounds using polarised-light therapy. *Brit J Plast Surg* 2002; 55: 420–6.
 8. Janković A, Stanojević M, Binić I. Physical therapy of venous ulcers: effects of electroionotherapy and polarized light. *Acta Fac Med Naiss* 2005; 22: 29–35.
 9. Strgar R, Črne T, Malukoski D, Ban Frangež H. Fotobiološki mehanizmi svetlobne terapije. V: Frangež I, Frangež HB, ur. Svetlobna terapija v medicini – fotobiomodulacija. 1. simpozij Slovenskega združenja za fotomedicino in fotobiologijo, Ljubljana, 20. oktober 2012. Ljubljana: Slovensko združenje za fotomedicino in fotobiologijo, 2012: 17–24.
 10. Karu T. Photobiology of low-power laser effects. *Health Physics* 1989; 56: 691–704.
 11. Smith KC. The photobiological basis of low level laser radiation therapy. *Laser Ther* 1991; 3: 19–24.
 12. Hawkins D, Abrahamse H. Phototherapy – a treatment modality for wound healing and pain relief. *Afric J Biomed Res* 2007; 10: 99–109.
 13. Katona E, et al. Membrane effects of low level infrared laser irradiation, as seen in metabolically intact and impaired human blood cells. *Romanian J Biophys* 2004; 14: 99–108.
 14. Pinheiro Barbosa AL, Meireles Silva GC, Vieira de Barros AL, Carvalho CM, Santos JN. Phototherapy improves healing of cutaneous wounds in nourished and undernourished wistar rats. *Braz Dent J* 2004; 15: 21–8.
 15. Bolton P, Dyson M, Young S. The effect of polarized light on the release of growth factors from the U-937 macrophage-like cell line. *Laser Ther* 1992; 2: 33–42.
 16. Fenyó M, Mandl J, Falus A. Opposite effect of linearly polarized light on biosynthesis of interleukin-6 in a human B lymphoid cell line and peripheral human monocytes. *Cell Biol Inter* 2002; 26: 265–9.
 17. Mester E, Mester AF, Mester A. The biomedical effects of laser application. *Laser Surg Med* 1988; 5: 31–9.
 18. Demidova Rice TN, Hamblin MR, Herman IM. Acute and impaired wound healing: pathophysiology and current methods for drug delivery, part 1: normal and chronic wounds: biology, causes and approaches to care. *Adv Skin Wound Care* 2012; 25: 304–14.
 19. Bioptron light therapy system. Leaders in light therapy [Internet]. Wollerau: Bioptron AG; c2004-2014. Dostopno na <http://www.bioptron.com> (citirano 10. 12. 2014).
 20. Medenica L, Lens M. The use of polarised polychromatic non-coherent light alone as a therapy for venous leg ulceration. *J Wound Care* 2003; 12: 37–40.
 21. Monstrey S, Hoeksema H, Depuydt K, Van Maele G, Van Landuyt K, Blondeel P. The effect of polarized light on wound healing. *Eur J Plast Surg* 2002; 24: 377–82.
 22. Colić MM, Vidojković N, Jovanović M, Lazović G. The use of polarized light in aesthetic surgery. *Aesth Plast Surg* 2004; 28: 324–27.
 23. Faraone V, Denaro L, Ruello E, Scarmato A, Vermiglio G, Ruggeri P. Phototreatment of radiation-induced dermal injuries. *Acta Med Mediter* 2008; 24: 99–104.