

Witold Rongies^{1,3}, Dorota Wultańska², †Katarzyna Kot², Aleksandra Bogusz³, Magdalena Rongies⁴,
Paweł Swierszcz⁴, Monika Lewandowska³, Grażyna Cholewińska⁵, Felicja Meisel-Mikołajczyk.²

WPŁYW PROMIENIOWANIA UV W ZAKRESIE DŁUGOŚCI B I C, W WARUNKACH *IN VITRO*, NA RÓŻNE SZCZEPY BAKTERII IZOLOWANYCH OD PACJENTÓW HOSPITALIZOWANYCH W KLINIKACH WARSZAWSKIEGO UNIwersYTETU MEDYCZNEGO

THE IMPACT OF UV RADIATION B AND C *IN VITRO* ON DIFFERENT OF BACTERIA STRAINS ISOLATED FROM PATIENTS HOSPITALIZED IN THE WARSAW MEDICAL UNIVERSITY CLINICS

¹ Zakład Rehabilitacji Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego w Warszawie

² Katedra i Zakład Mikrobiologii Lekarskiej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

³ Zakład Rehabilitacji Oddział Fizjoterapii II Wydział Lekarski Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

⁴ Klinika Chirurgii Ogólnej, Naczyniowej i Transplantacyjnej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

⁵ Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej Wojewódzki Szpital Zakaźny w Warszawie

STRESZCZENIE

Wstęp. Często spotykanym problemem klinicznym są zakażenia, trudno gojące się rany, stanowiące, w wielu przypadkach, poważne zagrożenie dla zdrowia i życia pacjenta. Zastosowanie UV C, dzięki swojemu silnemu działaniu bakteriobójczemu, może stanowić cenne uzupełnienie leczenia standardowego tych ran.

Cel pracy. Ocena wrażliwości różnych szczepów bakteryjnych izolowanych od pacjentów z klinik Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, na działanie promieni UV typu B i C.

Materiał i metody. Do badań użyto 65 szczepów tlenowo rosnących (15 szczepów *Escherichia coli*, 20 szczepów *Pseudomonas aeruginosa*, 15 szczepów *Staphylococcus aureus*, 15 szczepów *Streptococcus* sp. i *Enterococcus* sp.) Przygotowane odpowiednio szczepy, naświetlano lampą UV (Endolampa 474 firmy Enraf Nonius) z odległości 25 cm, w czasie od 5 do 105 sekund. Wpływ UV na poszczególne szczepy oceniano stwierdzając wzrost lub brak wzrostu bakterii.

Wyniki i wnioski. W wyniku naświetlania badanych drobnoustrojów UV B i C przy użyciu Endolampy 474 stwierdzono zróżnicowaną, ale dużą wrażliwość na działanie tego promieniowania, we wszystkich badanych szczepach bakteryjnych. Działanie promieni UV na drobnoustroje wymaga dalszych badań, również w warunkach *in vivo*.

Słowa kluczowe: promieniowanie UVB, UVC, bakterie tlenowe, zakażone rany

ABSTRACT

Introduction. Infections in human body caused by various microbes are a significant problem in modern medicine. Special attention is put to infections of wounds, which are a significant threat to the life of patients. Attempts to treat these wounds base mainly on the application of various chemical preparations (locally) and systematic antibiotic treatment. UV radiation, because of its anti-bacterial activity, appear a complementary issue in therapy.

Aim of the survey: The aim of this study was an examination of the sensitivity of bacteria strains isolated from patients hospitalised in the Warsaw Medical University clinics, and prove that antibiotics and operation of UV B and C radiation with Endolamp 474 may become a complementary or alternative method of treatment.

Material and methodology. The study used 65 strains grown aerobically (15 strains of *Escherichia coli*, 20 strains of *Pseudomonas aeruginosa*, 15 strains of *Staphylococcus aureus*, 15 strains of *Streptococcus* and *Enterococcus* sp). The same strains were planted on different excipients and were subjected to UV radiation using Endolamp 474. Correctly prepared strains were radiated from a 25 cm distance in various durations (from 5 seconds to 105 seconds).

Results and conclusions. As a result of UV irradiation of microorganisms studied B and C using 474 Endolampy received varied, but the great sensitivity to the effects of this radiation, in all tested bacterial strains. UV radiation on microorganisms requires further study, also *in vivo*.

Key words: radiation UVB, UVC, aerobic bacteria, infected wounds

WSTĘP

Istotnym problemem zespołu medycznego, są różnego rodzaju zakażenia u chorych, wywoływane przez drobnoustroje. Wśród nich często wymienia się trudno gojące się rany. Wymagają one nie tylko dużo czasu i środków na leczenie, lecz stanowią również, w wielu przypadkach, poważne zagrożenie dla zdrowia i życia pacjenta. Leczenie zakażonych drobnoustrojami ran, opiera się głównie na doustnej antybiotykoterapii, specjalistycznych działaniach chirurgicznych oraz stosowaniu różnych środków opatrunkowych. Ze względu na rosnącą liczbę drobnoustrojów opornych na standardową antybiotykoterapię oraz dostępne specyfiki używane do leczenia zakażonych ran, podejmowane są próby wykorzystywania do ich eliminacji innych sposobów leczenia. Jednym z nich, może się stać trochę zapomniane i niedoceniane promieniowanie ultrafioletowe (UV), w zakresie wybranych długości fal. Światło UV jest promieniowaniem elektromagnetycznym niewidzialnym dla człowieka. Długość fali zawiera się w zakresie od 100 do 400 nm. Ze względu na właściwości fotochemiczne oraz skutki oddziaływania biologicznego zostało podzielone na cztery zakresy.

- 100-200 nm – promieniowanie Schumana, które pochłaniane jest przez cząsteczki powietrza i pary wodnej. Ze względu na to, że może ono rozchodzić się tylko w próżni, nie można zaobserwować jego działania na organizmy żywe.
- 200-280 nm – promieniowanie UV-C charakteryzuje się najsilniejszym działaniem fotochemicznym. Ze względu na udowodnione silne działanie bakteriobójcze, stosowane jest do dezynfekcji pomieszczeń zabiegowych w szpitalach, sprzętu medycznego oraz wody w przemyśle i farmacji. Działanie bakteriobójcze promieni UV tłumaczy się uszkodzeniem struktury białek bakterii przez powstające bezpośrednio w komórce reakcje biochemiczne, które równocześnie mogą prowadzić do zahamowania wzrostu i podziału bakterii. Promieniowanie C pobudza również procesy syntezy nowych komórek.
- 280-315 nm – promieniowanie UV-B wykazuje również silne działanie fotochemiczne. Powoduje uaktywnienie 3,4-dihydroksyfenyloalaniny (DOPA-oksydaza), czego efektem jest melanogeneza. DOPA-oksydaza w obecności jonów miedzi powoduje polimeryzację i utlenianie DOPA do melaniny. Promieniowanie UV-B jest również niezbędne w procesie syntezy witaminy D₃. W wyniku jego oddziaływania dochodzi do przekształcenia 7-dehydrocholesterolu w prowitaminę D₃ w skórze i zapoczątkowania serii reakcji, w wyniku których powstaje witamina D₃. Wpływa również na pobudzanie żywych komórek do ich rozwoju.

- 315-400 nm – promieniowanie UV-A przenika najgłębiej przez warstwy skóry – fala o długości 400 nm dociera do skóry właściwej i jest pochłaniana na głębokości do 2 mm. Ma słabe działanie fotochemiczne, które można obserwować przy długich czasach aplikacji, lub gdy zabieg jest wykonywany po wcześniejszym podaniu fotosensybilizatora. Światło ultrafioletowe z zakresu A nasila także pigmentację skóry, która jest jednak słabo widoczna (1,2).

Promieniowanie UV było wykorzystywane do zwalczania drobnoustrojów już w roku 1910. Stało się to dzięki odkryciu lampy Merkury i tuby kwarcowej. Pierwsze próby dezynfekcji dotyczyły wody i odbyły się w Marsylii, ale metoda nie została jednak wprowadzona do powszechnego użytku, głównie ze względu na wysokie koszty eksploatacji urządzenia emitującego UV (2). Kiedy lepiej poznano negatywne skutki stosowania chloru i ozonu, promieniowanie UV zwróciło ponownie uwagę naukowców. Od 1980 roku UV było szeroko stosowane w Europie do dezynfekcji wody pitnej, oraz dla ochrony przed incydentalnym zakażeniem wody gruntowej (Kruithof i wsp. 1992).

Jako główny środek dezynfekujący, promieniowanie UV zaczęło być stosowane w Europie i w Stanach Zjednoczonych Ameryki, gdy wykazano jego wysoką skuteczność przeciwko *Cryptosporidium* i *Giardia* (3). Podstawy dezynfekcji z wykorzystaniem UV zawdzięczamy pracom Sonntaga i wsp. (4).

Niestety, obecnie mało jest prowadzonych badań dotyczących zastosowania UV w leczeniu trudno gojących się ran (ran zakażonych). Przedstawiona praca kierowana jest do różnych środowisk medycznych (głównie epidemiologów, chirurgów, neurologów, lekarzy chorób zakaźnych oraz rehabilitantów), w celu podejmowania prób wykorzystywania UV o dużym natężeniu energii, w warunkach klinicznych.

Cel pracy. W badaniu oceniano wrażliwość różnych szczepów bakteryjnych izolowanych z ran od pacjentów z klinik Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, na działanie promieni UV, głównie typu C.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto 65 szczepów bakterii tlenowo rosnących, uzyskanych z wymazów z ran, owrzodzeń skóry, gardła, szyjki macicy, odleżyn, próbek moczu, ropni, żółci, płynu z jamy opłucnej, płynu z kolana. Próbkę do badań były pobrane od pacjentów hospitalizowanych w klinikach Państwowego Szpitala Klinicznego Dzieciątka Jezus-Centrum Leczenia Obrażeń, Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego w oddziałach chirurgii ogólnej, dermatologii, ortopedii,

interny, transplantologii, intensywnej opieki medycznej, urologii oraz ginekologii. Badaniami objęto 15 szczepów *Escherichia coli*, 20 szczepów *Pseudomonas aeruginosa*, 15 szczepów *Staphylococcus aureus*, 15 szczepów *Streptococcus sp.* i *Enterococcus sp.*

H o d o w l a i i d e n t y f i k a c j a s z c z e p ó w. Materiał do badań posiewano na podłoża agar z krwią, MacConkeya, CPS, Chapmana, coccosel, podłoże płynne Schaedlera, zaś do izolacji i namnażania kolonii bakteryjnych użyto podłoża Muellera-Hinton. Wszystkie posiewy bakterii tlenowo rosnących inkubowano w warunkach tlenowych w 37°C przez 24 godziny. Do identyfikacji bakterii użyto następujących szeregów biochemicznych firmy bio' Merieux: do identyfikacji pałeczek Gram-ujemnych ID 32GN, zaś do ziarniaków Gram-dodatnich API STAPH, API STREP, API ENTERO. Identyfikację odczytywano w automatycznym czytniku zgodnie z zaleceniami producenta. Szczepy identyfikowano oceniając morfologię wzrostu, wygląd w preparatach bakteriologicznych i cechy biochemiczne testem API 20 A. Toksynotwórczość niektórych gatunków oceniano stosując metody biologii molekularnej (PCR).

M e t o d a n a ś w i e t l e ń p r o m i e n i a m i U V B i C n a s z c z e p y b a k t e r y j n e. Hodowlę płynną badanych szczepów wysiewano eż na podłoże agar krwawy. Tak przygotowane szczepy naświetlano lampą UV z odległości 25 cm w czasie od 5 do 105 sekund. Odczytu dokonywano stwierdzając wzrost lub brak wzrostu szczepów badanych. Naświetlań dokonano przy użyciu Endolampy 474 firmy Enraf- Nonius, która emitowała głównie promieniowanie UV-C (74%) i w niewielkim UV-B (5%), UV-A (2,5%) i promieniowanie widzialne (18,5%). Żarówki generowały promieniowanie o gęstości mocy 5 mJ/s*cm² w odległości 10 cm od źródła emisji. Aparat nie wymagał rozgrzania i był gotowy do użycia bezpośrednio po podłączeniu do źródła zasilania.

WYNIKI

W wyniku naświetlania badanych szczepów bakteryjnych promieniami ultrafioletowymi B i C przy użyciu Endolampy 474 otrzymano zróżnicowaną wrażliwość na działanie promieni UV.

W przypadku naświetlania szczepów *Escherichia coli*, minimalnym czasem potrzebnym do uzyskania braku wzrostu komórek było 15s. Po zastosowaniu aplikacji trwającej 75s, nie stwierdzono wzrostu żadnego z badanych szczepów (tab. I).

Tabela I. Wrażliwość badanych szczepów *Escherichia coli* na promieniowanie ultrafioletowe

Table I. Sensitivity of *Escherichia coli* strains on ultraviolet radiation

L. p	Nr szczepu	Nazwa szczepu	5 s	15 s	30s	60 s	75 s	90 s	105 s
1	FO 5848/1	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+	-	-	-
2	FM 6426	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+	-	-	-
3	FK 2150	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	-	-	-	-
4	FO 5873	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	-	-	-	-
5	FO 2630/1	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	-	-	-	-
6	FO 2567/1	<i>Escherichia coli</i>	+	+	-	-	-	-	-
7	FO 2585	<i>Escherichia coli</i>	+	+	-	-	-	-	-
8	FO 2692/1	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+	-	-	-
9	FO 5786/4	<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+	-	-	-
10	FO 2737/1	<i>Escherichia coli</i>	+	-	-	-	-	-	-

+ wzrost drobnoustroju

- brak wzrostu drobnoustroju

Poddane naświetlaniu UV szczepy *Pseudomonas aeruginosa* wykazały również zróżnicowaną odpowiedź. Spośród 17 badanych szczepów 9 z nich reagowało brakiem wzrostu w czasie nieprzekraczającym 30s, ale 5 innych wymagało czasu aż 90s, a jeden nawet 105s. (tab. II).

Tabela II. Wrażliwość badanych szczepów *Pseudomonas aeruginosa* na promieniowanie ultrafioletowe

Table II. Sensitivity of *Pseudomonas aeruginosa* strains on ultraviolet radiation

L. p	Nr szczepu	Nazwa szczepu	5 s	15 s	30s	60 s	75 s	90 s	105 s
1	FM 6785	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-
2	FM 7333	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	-	-	-	-	-
3	FM 7686	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-
4	FM 7673	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	-	-	-	-
5	FO 5933	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	-	-	-	-	-
6	FO 2667/2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-
7	FO 5889	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	-	-
8	FO 5504/1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	+	-	-	-
9	FO 5180/2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	-	-	-	-	-
10	FO 5350/1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	-	-	-	-
11	FM 6741	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	+	-
12	FO 5529/1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	-	-	-	-
13	FK 2356	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	-	-	-	-	-
14	FO 5529/2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-
15	FO 6401/1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	-	-
16	FO 6314/2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	-	-
17	FM 8094	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-

+ wzrost drobnoustroju

- brak wzrostu drobnoustroju

Naświetlanie promieniami UV *Staphylococcus aureus* okazało się również skuteczne. Zaobserwowano stosunkowo małą rozbieżność w zakresie wrażliwości badanej grupy bakterii na UV, gdyż brak wzrostu komórek stwierdzono u wszystkich 15 szczepów, w zakresie od 30 do 90s stosowanej aplikacji. (tab. III).

Tabela III. Wrażliwość badanych szczepów *Staphylococcus aureus* na promieniowanie ultrafioletoweTable III. Sensitivity of *Staphylococcus aureus* strains on ultraviolet radiation

L. P	Nr szczepu	Nazwa szczepu	5 s	15 s	30 s	60 s	75 s	90 s	105 s
1	sty-30	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-	-	-
2	sty-89	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	-	-	-	-
3	mar-63	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	-	-	-	-
4	sty-36	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-	-	-
5	2340	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	+	-	-
6	2429	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	-	-	-	-
7	lut-79	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-	-	-
8	lut-71	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-	-	-
9	2364	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	-	-	-	-
10	2395	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-	-	-
11	2385	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-	-	-
12	sty-70	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	-	-	-	-	-
13	2567	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	-	-	-	-
14	2396	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	-	-	-	-
15	5921	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	-	-	-

+ wzrost drobnoustroju

- brak wzrostu drobnoustroju

Naświetlanie *Streptococcus sp.* i *Enterococcus sp.* wykazało ich wrażliwość na zastosowane w badaniu promieniowanie UV na podobnym poziomie jak w przypadku *Staphylococcus aureus*. Minimalnym czasem do inhibicji wzrostu komórek bakteryjnych z tej grupy było 30s, a maksymalnym 90s (tab. IV).

Tabela IV. Wrażliwość badanych szczepów *Streptococcus sp.* i *Enterococcus sp.* na promieniowanie ultrafioletoweTable IV. Sensitivity of *Streptococcus sp.* and *Enterococcus sp.* strains on ultraviolet radiation

L. p	Nr szczepu	Nazwa szczepu	5 s	15 s	30 s	60 s	75 s	90 s	105 s
1	2402	<i>Streptococcus oralis</i>	+	+	-	-	-	-	-
2	2380	<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	+	-	-	-
3	2397	<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	+	-	-	-
4	P 202	<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	-	-	-	-
5	lut-96	<i>Enterococcus avium</i>	+	+	+	-	-	-	-
6	lut-26	<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	+	-	-	-
7	lut-83	<i>Streptococcus suis</i>	+	+	+	-	-	-	-
8	kwi-63	<i>Streptococcus agalactiae</i>	+	+	+	+	-	-	-
9	2422	<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	-	-	-	-
10	2572	<i>Streptococcus pyogenes</i>	+	+	+	+	+	-	-
11	sty-79	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	+	+	+	-	-	-	-
12	mar-29	<i>Streptococcus Grupy G</i>	+	+	+	+	+	-	-
13	sty-96	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	+	+	+	-	-	-	-
14	2475	<i>Enterococcus faecium</i>	+	+	+	-	-	-	-
15	lut-14	<i>Enterococcus faecalis</i>	+	+	+	-	-	-	-

+ wzrost drobnoustroju

- brak wzrostu drobnoustroju

DYSKUSJA

W dostępnym piśmiennictwie jest niewiele prac oceniających wpływ UV w warunkach *in vitro*, na biologiczne reakcje różnych drobnoustrojów (5-8). Jedną z nich jest badanie *Conner-Kerra TA* i wsp. w którym oceniano skuteczność promieniowania ultrafioletowego (UV) w leczeniu opornych na antybiotyki szczepów *Staphylococcus aureus* i *Enterococcus faecalis*. Odpowiednio przygotowane szczepy bakteryjne naświetlano światłem UVC (254 nm), o mocy wyjściowej 15.54 mW/cm². Podobnie jak w prezentowanym badaniu zastosowano różne czasy aplikacji. Stosując czas naświetlania w przedziale od 5 do 60 sekund osiągnięto 99,9% skutecznego działania bakteriobójczego i 100% w przedziale 90-120 sekund w stosunku do opornych na metycylinę szczepów *Staphylococcus aureus* (MRSA). W drugim badanym szczepie opornym na wankomycynę, *Enterococcus faecalis* (VRE), 99,9 procent komórek wykazywało zahamowanie wzrostu po naświetlaniu w przedziale czasowym 5-30 sekund i 100% w czasie od 45 do 120 sekund. Podobne wyniki uzyskano stosując UVC w przypadku szczepów bakteryjnych *Staphylococcus aureus* i *Enterococcus faecalis* wrażliwych na antybiotyki. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała większą wrażliwość na UVC wykorzystanych do badania enterokoków niż gronkowców. Wyniki te zbliżone są do osiągniętych wartości w prezentowanej pracy własnej (8). Również inne badania przeprowadzone w warunkach pozaustrojowych potwierdzają duże możliwości śmiertelności oddziaływania biologicznego UV, w stosunku do różnych szczepów bakterii chorobotwórczych (5,6,7).

W prezentowanym doniesieniu dominuje duże zróżnicowanie odpowiedzi na zastosowane promieniowanie, podobnie jak w wymienionych wcześniej pracach. Warto jednak podkreślić, iż wszystkie bakterie poddane naświetlaniom UVC, wykazały stosunkowo dużą wrażliwość na ich biologiczne działanie, reagując po określonym czasie, brakiem wzrostu. Biorąc pod uwagę fakt, iż zakażenia dużej części trudno gojących się ran, w warunkach klinicznych, spowodowane są kolonizacją użytych do obserwacji szczepów bakteryjnych, wyniki przeprowadzonego badania w warunkach *in vitro* mogą stanowić wyjątkową zachętę do dalszych badań w warunkach *in vivo*, uwzględniając oczywiście wrażliwość tkanek ludzkich na promienie UV. Obecnie badania w warunkach ustrojowych prowadzone są głównie z powodu rosnącej liczby szczepów opornych na antybiotyki. Przykładem są badania *Tai* i wsp., którzy wykorzystali światło ultrafioletowe w zakresie pasma C (UVC) do prób zmniejszenia ilości bakterii obecnych w ranach przewlekle zakażonych (9). Badanie dotyczyło 22 osób z przewlekłymi owrzodzeniami, u któ-

rych stwierdzano co najmniej dwa objawy zakażenia, w przebiegu kolonizacji przynajmniej jednego szczepu bakterii. U wszystkich chorych dokonano jednorazowej aplikacji UVC w czasie 180 sekund z odległości ok. 2,5cm od zakażonej rany. Ocena zastosowanej aplikacji z zastosowaniem metody półilościowej wykazała istotne statystycznie ($p < 0,0001$) zmniejszenie ilości bakterii w obserwowanych ranach w wyniku jednego zabiegu. Największe efekty w półilościowej ocenie obserwowano w ranach skolonizowanych przez bakterie *Pseudomonas aeruginosa* i rany skolonizowane tylko przez jeden gatunek bakterii. Istotne ($p < 0,05$) obniżenie względnej ilości bakterii obserwowano również w 12 owrzodzeniach, zakażonych *Staphylococcus aureus*. Wyniki te potwierdziły wcześniejsze rezultaty badań laboratoryjnych, w których wykazano, że światło ultrafioletowe C może być skutecznym środkiem bakteriobójczym szczepów odpowiedzialnych za utrudnienia w gojeniu się ran (*Pseudomonas aeruginosa* i *Staphylococcus aureus*). W innym badaniu tego samego autora i wsp. wykazano, że światło ultrafioletowe w zakresie długości pasma C, może skutecznie redukować bakterie odporne na wybrany antybiotyk. W pracy tej opisano skuteczne działanie UVC na gojenie się ran, zakażonych bakteriami *Staphylococcus aureus*, opornymi na metycylinę. Autorzy wskazali jednocześnie na konieczność wielokrotnego naświetlania w celu zabicia bakterii położonych w głębszych warstwach rany (9,10).

W 2007 roku Ennis i wsp opublikowali pracę dotyczącą wpływu promieniowania UV na szczepy bakterii, które najczęściej kolonizują rany, spowalniając proces ich gojenia. W swoim badaniu przedstawili wyniki badań, dotyczących wpływu UV-C na niektóre szczepy bakterii, przeprowadzonych również przez innych autorów (tab. V) (11).

Tabela V. Wpływ światła UV-C na wybrane szczepy bakterii kolonizujące rany [10]

Table V. The effect of C ultraviolet light on bacterial strains colonizing wounds

Autor	Bakteria	Czas naświetlania	% śmiertelności szczepu
Conner-Kerr et al.	<i>Staphylococcus aureus</i> (oporne na metycylinę)	5 s	99,9
		90 s	100
	<i>Enterococcus faecalis</i> (oporne na wankomycynę)	5 s	99,9
		90 s	100
Sullivan, Conner-Kerr	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Mycobacterium abscessus</i>	3 s	99,9
	<i>Candida albicans</i>	15 s	99,9
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	30 s	99,9
Sullivan et al.	<i>Streptococcus pyogenes</i>	4 s	99,9 (nigdy nie osiągnięto 100%, nawet przy 180s)

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zakażenia ran, spowodowane przez odporne na antybiotyki szczepy bakterii, są szczególnie trudne do leczenia. Rany te stanowią niekiedy poważne zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia wielu pacjentów. Poszukiwanie skutecznych sposobów rozwiązywania tego trudnego problemu klinicznego stanowi prawdziwe wyzwanie dla wszystkich, którzy z nim się w codziennej pracy zawodowej spotykają. Wydaje się, iż czasami zapominamy o sposobach prostych, ale skutecznych, tanich a jednocześnie sprawdzonych. Powołując się raz jeszcze na otrzymane wyniki oraz wyniki cytowanych prac, promieniowanie UV (zwłaszcza w zakresie pasma 200–280nm), może stanowić cenne uzupełnienie w procesie leczenia trudno gojących się i zakażonych ran. Zarówno w profilaktyce zakażeń szpitalnych, jak i w systemowym leczeniu chorego, ważne jest zastosowanie wszystkich możliwych czynników fizycznych i chemicznych prowadzących do ograniczenia prawdopodobieństwa przeżycia drobnoustrojów.

W prezentowanej pracy:

1. Wszystkie badane szczepy bakteryjne wykazywały wrażliwość na działanie promieni UV B i C.
2. Badane drobnoustroje wykazywały zróżnicowaną wrażliwość na działanie promieni UV B i C.
3. Działanie promieni UV na drobnoustroje wymaga dalszych badań, również w warunkach *in vivo*.

PIŚMIENNICTWO

1. Mika T, Kasprzak W. Fizykoterapia. Wyd. 4. Warszawa: Wydaw Lek PZWL; 2001, 2003 : 95-98.
2. Henry V, Helbronner A, Recklinghausen M. Nouvelles recherches sur la sterilization de grandes quantites d'eau par les rayons ultraviolets. Comp Rend Acad Sci 1910; 151: 677–680.
3. Hijnen W A M, Beerendonk E F, Medema G J. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoa (oo)cysts in water: A review. Water res 2006; 40: 3–22.
4. von Sonntag C, Kolch A, Gebel, Oguma, K, Sommer, R. 2004 The photochemical basis of UV disinfection. In: Proceedings of the European Conference UV Karlsruhe, UV Radiation. Effects and Technologies 2003; 22–24.
5. Makdoui K, Bäckman A, Mortensen J, Crafoord S. Evaluation of antibacterial efficacy of photo-activated riboflavin using ultraviolet light (UVA). Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2010; 248(2):207-12. Epub 2009;18.
6. Schrier A, Greebel G, Attia H, Trokel S, Smith EF. In vitro antimicrobial efficacy of riboflavin and ultraviolet light on *Staphylococcus aureus*, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, and *Pseudomonas aeruginosa*. J Refract Surg 2009; 25(9):S799-802. doi: 10.3928/1081597X-20090813-07. Epub 2009; 11.

7. Sheldon JL, Kokjohn TA, Martin EL. The effects of salt concentration and growth phase on MRSA solar and germicidal ultraviolet radiation resistance. *Ostomy Wound Manage* 2005; 51(1):36-8, 42-4, 46.
8. Conner-Kerr TA, Sullivan PK, Gaillard J, Franklin ME, Jones RM. The effects of ultraviolet radiation on antibiotic-resistant bacteria in vitro. *Ostomy Wound Manage* 1998; 44(10):50-6.
9. Thai TP, Keast DH, Campbell KE, Woodbury MG, Houghton PE. Effect of ultraviolet light C on bacterial colonization in chronic wounds. *Ostomy Wound Manage* 2005;51(10):32-45.
10. Thai TP, Houghton PE, Campbell KE, Woodbury MG. Ultraviolet light C in the treatment of chronic wounds with MRSA: a case study. *Ostomy Wound Manage* 2002; 48 (11):52-60.
11. Ennis W J, Lee C, Meneses P.A biochemical approach to wound healing through the use of modalities. *Clinics in Dermatology* 2007; 25: 63–72.

Otrzymano: 20.10.2010 r.

Zaakceptowano do druku: 30.11.2010 r.

Adres do korespondencji:

Witold Rongies

Zakład Rehabilitacji

Samodzielny Publiczny

Centralny Szpital Kliniczny

02-097 Warszawa, ul. Banacha 1a

e-mail: rongies@interia.pl