

LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

POROVNÁNÍ ANTIBAKTERIÁLNÍ AKTIVITY KRYTŮ RAN DOTOVANÝCH STŘÍBREM

VLADIMÍRA VOSMANSKÁ, KATEŘINA KOLÁŘOVÁ a VÁCLAV ŠVORČÍK

*Ústav inženýrství pevných látek, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha
vosmansv@vscht.cz*

Došlo 11.1.17, přijato 15.5.17.

Klíčová slova: kryty ran, stříbro, antibakteriální vlastnosti, bakterie

Úvod

V moderní terapii se Ag v různých formách používá k omezení infekcí u popálenin, otevřených ran, bércových vředů, diabetických nohou a proleženin, u kterých je proces hojení často inhibován bakteriálním osídlením. Jako léčivý přípravek se Ag ve formě AgNO_3 používalo běžně již v 19. století pro léčbu tetanu a revmatu a ve 20. století před objevením antibiotik proti nachlazení a kapavce¹. Dnes je Ag používáno ve své metalické podobě Ag^0 i ve formě sloučenin, např. AgNO_3 , sulfadiazinu stříbrného, AgCl a Ag_2SO_4 v topických přípravcích v podobě roztoků, gelů, mastí, nebo krytů ran^{2,3}. Iontové stříbro (Ag^+) je aktivní proti mikroorganismům už při nízké koncentraci⁴⁻⁸ a existuje přímá souvislost mezi koncentrací volných Ag^+ iontů v médiu a bakteriální letalitou⁹. U metalického Ag^0 žádný antibakteriální efekt není¹⁰. Ionty, které jsou vázané, chelatované nebo vysrážené do nerozpustných komplexů s exsudátem tkáně taktéž nejsou dostupné pro antibakteriální účinek¹⁰.

Ag je účinné u více než 650 kmenů mikroorganismů, Gram-pozitivních i Gram-negativních. Princip antimikrobiální aktivity Ag byl popsán na několika úrovních bakteriální buňky: (i) změna permeability buněčné membrány, což způsobí vylití obsahu buňky do extracelulárního prostředí, (ii) indukce vzniku reaktivních radikálů, které poškozují buněčnou membránu, dále (iii) inhibice replikace bakteriální DNA prostřednictvím vazby na strukturální proteiny a konečně (iv) inhibice RNA transkripce vazbou na 30S podjednotku bakteriálního ribosomu a tím inaktivace bakteriálních enzymů prostřednictvím silné vazby na thiolové skupiny^{2,11-13}. Všechny uvedené mechanismy (i–iv) nejsou slučitelné s dalším replikačním cyklem (bakteriostatický účinek) nebo životem bakteriální buňky

(bakteriocidní účinek).

Kryty ran s obsahem Ag v různé formě jsou v terapii nehojících se ran běžně používány. Vyznačují se však vysokou prodejní cenou, a proto je terapie nákladná, zejména u pacientů s rozsáhlými infikovanými ranami, které se nehojí a je nutné je často převazovat. Je nutné uvážit i negativní vliv dlouhodobě se nehojící rány na psychický stav pacienta. Na trhu jsou dostupné pokročilé kryty ran s obsahem Ag, které mají dle výrobců vynikající vlastnosti v testech *in vitro* a *in vivo* na animálních modelech při simulovaných ranách. Podle lékařů v klinické praxi nevykazují tyto kryty ran u pacientů s těžko se hojícími ranami zásadní zlepšení. Z toho důvodu byly provedeny experimenty u vybraných krytů ran s obsahem Ag a to z důvodu zjištění celkového obsahu Ag, uvolňování Ag a jejich souvislost s antibakteriálními vlastnostmi.

Experimentální část

Použité materiály, chemikálie a mikroorganismy

Byly studovány: Atrauman Ag, (tkaný polyamid, výrobce HARTMANN – RICO a.s., ČR) Aquacel Ag⁺ Extra a Aquacel Ag Foam (netkané textilie sodné soli karboxymethylcelulosity, výrobce ConvaTec Česká republika s.r.o., ČR), Actisorb Plus 25 (tkanina s aktivním uhlím impregnovaná stříbrem, výrobce Systagenix, UK), Mepilex Transfer Ag (silikonová pěna, výrobce Mölnlycke Health Care, s.r.o., SWE) a Melgisrob Ag (netkaná alginátová textilie, výrobce Mölnlycke Health Care, s.r.o., SWE).

Pro simulaci prostředí lidského těla byl použit fyziologický roztok (FR), 0,9% roztok NaCl (Lach-ner, ČR). Testy antibakteriálních vlastností byly provedeny na Gram-pozitivním kmeni *Staphylococcus epidermidis* (DBM 3179) a Gram-negativním kmeni *Escherichia coli* (DBM 3138) ze Sbíry mikroorganismů VŠCHT Praha.

Analýza vzorků

Atomovou absorpční spektroskopií (AAS) s plamenovou atomizací bylo zjištěno celkové množství Ag v krytech ran a také množství Ag ve vodných výluzích na spektrometru AGILENT 280FS AA (Agilent Technologies, AUS). Složení povrchové vrstvy vzorků bylo zjištěno rentgenovou fluorescenční analýzou (XRF) na spektrometru Axios (PANanalytical, NLD), charakteristické fluorescenční záření prvků bylo analyzováno v softwaru Omian a SuperQ (PANanalytical, NLD). Stanovení fázevého složení bylo provedeno rentgenovou difrakční spektroskopií (XRD) na zařízení PANalytical X'pert Pro (PANanalytical, NLD) a difrakční záznamy byly vyhodnoceny softwarem PANanalytical HighScore Plus 3.0e (Spectris plc, UK). Vizualizace Ag na vzorcích byla provedena skenovací elektronovou mikroskopií (SEM)

s chemickým kontrastem při napětí 20,0 kV na přístroji VEGA 3 (TESCAN, ČR).

Testy antibakteriálních vlastností

Metoda počítání kolonií

Pro stanovení počtu bakteriálních kolonií narostlých po kontaktu se vzorky byl použit kvantitativní test založený na mezinárodní normě ISO 20743. Do zkumavky se 2 ml FR byly vloženy vzorky o průměru 1 cm. Do každé zkumavky bylo přidáno inokulum zředěné FR tak, aby bylo dosaženo koncentrace $2,2 \cdot 10^4$ CFU ml⁻¹ (*E. coli*) a $4,4 \cdot 10^4$ CFU ml⁻¹ (*S. epidermidis*). Vzorky byly ponechány 1 h v kontaktu s inokulem a poté rozkapány na misky se živnou půdou ($V_{\text{kapka}} = 25 \mu\text{l}$) a inkubovány staticky 24 h při 24 °C (*E. coli*) a 37 °C (*S. epidermidis*). Výsledkem byly počty kolonií narostlé po inkubaci se vzorky vyjádřené v jednotkách CFU (colony forming unit).

Diskový difuzní test

Pro stanovení růstu bakteriálních kolonií na agarové destičce v přítomnosti vzorků byl použit kvalitativní test založený na mezinárodní normě ISO 20645. Na suché misky s živnou půdou bylo rozetřeno 300 μl bakteriálního inokula o koncentraci $2 \cdot 10^9$ CFU ml⁻¹. Následně byly na misky umístěny vzorky o průměru 1 cm. Misky byly inkubovány staticky 24 h při 24 °C (*E. coli*) a 37 °C (*S. epidermidis*), zóny inhibice byly vyhodnoceny softwarem ImageJ 1.43 (NIH, USA). Výsledkem diskového difuzního testu byly zóny inhibice, tj. místo, kde kolem vzorku nerostou bakterie v případě jeho antibakteriální aktivity. Průměr zóny inhibice (měřeno od kraje zóny inhibice přes střed vzorku do kraje zóny inhibice) a její šířka (měřeno od kraje zóny inhibice po okraj vzorku) byly vyjádřeny v mm.

Antibakteriální testy byly provedeny za aseptických podmínek a každý vzorek včetně kontrol byl připraven v tripletu. Misky byly inkubovány při rozdílných teplotách, jelikož kmen *E. coli* roste podstatně rychleji než *S. epidermidis*. Z toho důvodu byly misky s kmenem *E. coli* ponechány při laboratorní teplotě a výsledky byly odečítány ze všech misek ve stejnou dobu.

Výsledky a diskuse

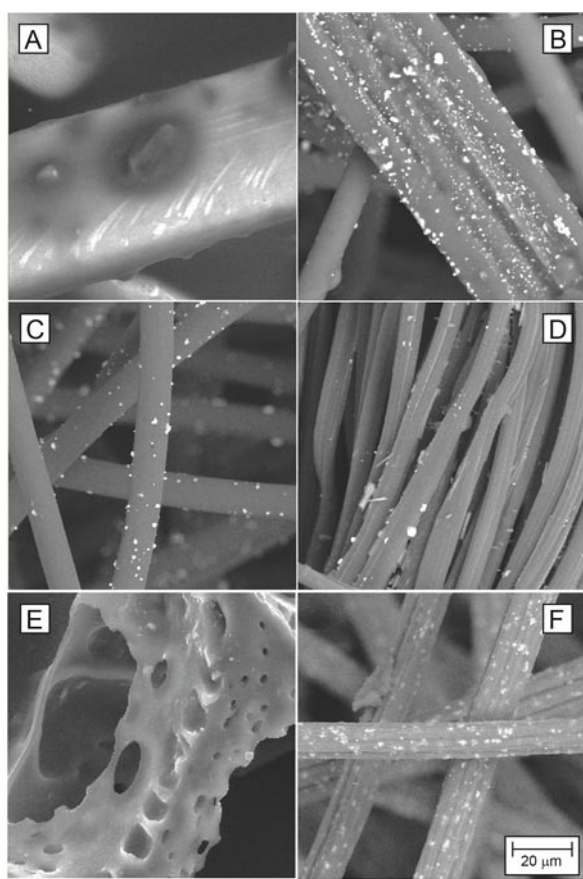
V práci byly standardizovaným způsobem *in vitro* porovnávány antibakteriální vlastnosti krytů ran s Ag (Atrauman Ag, Aquacel Ag⁺ Extra, Aquacel Ag Foam, Actisorb Plus 25, Mepilex Transfer Ag a Melgisorb Ag), které se dnes standardně používají pro léčbu infikovaných nehojících se ran (bércových vředů, diabetických nohou, proleženin, atd.). Pozornost byla zaměřena také na obsah a formu Ag v jednotlivých materiálech, morfologii matrice a množství uvolňovaného Ag ve vodě a FR.

Z dostupných zdrojů o materiálech (informace na obalu krytu, produktové informace na internetových stránkách výrobce, apod.) bylo komplikované zjistit, v jaké formě je Ag v krytech ran obsaženo. Získané informace jsou shrnuty do tab. I. Přesný obsah Ag ve vzorcích byl zjištěn technikou AAS s mineralizací pevných vzorků, procentuální zastoupení Ag (vůči matrici) v povrchové vrstvě krytů bylo zjištěno technikou XRF a složení krystalické fáze Ag technikou XRD. Materiály obsahovaly nejčastěji Ag ve formě AgCl, dále Ag⁰ a Ag₂SO₄. Ag často nebylo zastoupeno pouze v jediné formě, minoritní formu lze charakterizovat jako nečistoty. Ve všech případech, kdy výrobce nespecificky uvádí, že kryt obsahuje iontové Ag, jedná se o AgCl. Na Ag přítomné v této formě poukázala i našedlá barva krytů Aquacel Ag⁺ Extra, Aquacel

Tabulka I

Souhrn výrobcí udávaných složení krytů ran a obsah Ag. Následuje krystalická zjištěná fáze Ag (XRD), procentuální množství Ag v povrchu (XRF) a celkové množství Ag (AAS)

Název	Složení podle výrobce	Obsah Ag [mg/100 cm ²]	XRD		AAS
			krystalická fáze	množství Ag [%]	množství Ag [mg/100 cm ²]
Atrauman Ag	polyamidový tyl s triglyceridovou masťou, metalické Ag	30–50	Ag ⁰ (100 %)	13,5	27,6
Aquacel Ag ⁺ Extra	sodná sůl karboxymethyl- celulosity, iontové Ag	9	AgCl (98 %), Ag ⁰ (2 %)	4,2	15,0
Aquacel Ag Foam	sodná sůl karboxymethyl- celulosity, iontové Ag	9	AgCl (98 %), Ag ⁰ (2%)	4,6	12,5
Actisorb Plus 25	aktivní uhlí (uhlíkový nosič), iontové Ag	2,24–2,95	nezjištěna, slabé reflexe	1,9	3,2
Mepilex Transfer Ag	silikonová pěna, Ag ₂ SO ₄	120	Ag ₂ SO ₄ (99 %), Ag ⁰ (1 %)	5,3	118,9
Melgisorb Ag	alginát vápenatý, iontové Ag	8	AgCl (6 %) CaZr ₄ (PO ₄) ₆ (94 %)	1,6	9



Obr. 1. SEM snímky (s chemickým kontrastem) materiálů Atrauman Ag (A), Aquacel Ag⁺ Extra (B), Aquacel Ag Foam (C), Actisorb Plus 25 (D), Mepilex Transfer Ag (E) a Melgisorb Ag (F) při zvětšení 1500×

Ag Foam a Melgisorb Ag. Stejně zašedlé zbarvení vykazovaly i vzorky celulosy a oxidované celulosy s vysráženým AgCl na povrchu vláken, jež byly připraveny experimentálně v laboroři⁴.

Celkové množství Ag ve vzorcích zjištěné technikou AAS se odchylovalo od údajů deklarovaných výrobcí (tab. I). U Atraumanu Ag a Mepilex Transfer Ag byla zjištěna nižší množství Ag než byla uvedena výrobcem, a to o 8, resp. 1 % méně. Naopak u zbylých krytů ran byla zjištěna vyšší množství Ag než byla uvedena výrobcem a to o 44 % u Aquacel Ag⁺ Extra, 38 % u Aquacel Ag Foam, 8 % u Actisorb Plus 25 a 11 % u Melgisorb Ag.

Množství Ag zjištěné technikou XRF nebylo zcela konzistentní s uváděným i naměřeným obsahem Ag na plochu krytu. To bylo nejspíše způsobeno množstvím Ag obsaženého v objemu materiálu, jelikož tloušťka většiny vzorků (v řádu mm) mnohonásobně přesahovala možnosti analýzy technikou XRF, která je schopná měřit do hloubky 100 nm. Z dostupné dokumentace od výrobců nebylo jasné, jakou technikou bylo u konkrétních typů krytů ran množství Ag stanoveno. Ze snímků SEM s chemickým kontrastem bylo možné dobře pozorovat Ag i morfologii matrice krytu rány (obr. 1), Ag bylo viditelné jako jasné bílé tečky na matrici krytu rány. Shluky Ag byly nejvíce zřetelné na Aquacelu Ag⁺ Extra, Aquacelu Ag Foam a Melgisorbu Ag, tj. u všech vzorků s Ag ve formě AgCl. Méně Ag bylo patrné u Mepilex Transfer Ag a Actisorb Plus 25. Na Atraumanu Ag bylo Ag velice obtížně pozorovatelné. Vzorek byl pokrytý triglyceridovou masťou, která na povrchu tvořila mastný film, nehomogenně obalila jednotlivá vlákna a překryla jinak jasné kontrastní Ag. Nejvíce homogenní pokrytí vzorků částicemi Ag, co do rozmístění i velikosti, bylo u vzorků Aquacel Ag Foam.

Zjištění množství uvolněného Ag za definovaný čas bylo provedeno analýzou výluhů do vody a FR po dobu 1 a 24 h technikou AAS (tab. II). FR byl zvolen z toho důvodu, že lidské tělo je systém bohatý na Cl⁻ ionty a tak lépe simuluje podmínky, kdy je kryt ve styku s exsudátem z rány. Cl⁻ ionty, které se vyskytují v prostředí rány a exsudátu, jsou problematické, protože volné aktivní iontové Ag je tak ihned vyvázané ve formě sraženiny AgCl. Výrobci krytů ran tento efekt převažují několikanásobně vyšším množstvím Ag v krytech ran. Uvolňování Ag v prostředí FR bylo podstatně nižší než ve vodě, pokles v množství uvolněného Ag se pohyboval mezi 64–99 %

Tabulka II

Koncentrace Ag ve výluhu v prostředí destilované vody a fyziologického roztoku po 1 a 24 h zjištěné technikou AAS

Vzorek	Koncentrace Ag [mg l ⁻¹]			
	čas vyluhování ve vodě		čas vyluhování ve fyz. roztoku	
	1 h	24 h	1 h	24 h
Atrauman Ag	0	0	0	0,15
Aquacel Ag ⁺ Extra	1,93	7,73	0,77	2,78
Aquacel Ag Foam	1,11	13,8	0,54	0,56
Actisorb Plus 25	0,09	0,53	0,05	0,12
Mepilex Transfer Ag	133	136	1,54	0,55
Melgisorb Ag	0,07	0,10	0,37	0,59

Tabulka III

Zóny inhibice vzniklé kolem testovaných vzorků u kmenů *S. epidermidis* a *E. coli* v diskovém difúzním testu

Vzorek	<i>E. coli</i>		<i>S. epidermidis</i>	
	průměr [mm]	šířka zóny [mm]	průměr [mm]	šířka zóny [mm]
Atrauman Ag	0	0	0 ^a	0 ^a
Aquacel Ag ⁺ Extra	11,9	1,0	18,4	4,2
Aquacel Ag Foam	0	0	14,2	2,1
Actisorb Plus 25	0	0	0	0
Mepilex Transfer Ag	0	0	0	0
Melgisorb Ag	0 ^a	0 ^a	12,3	1,2

^a Zóna zarostla

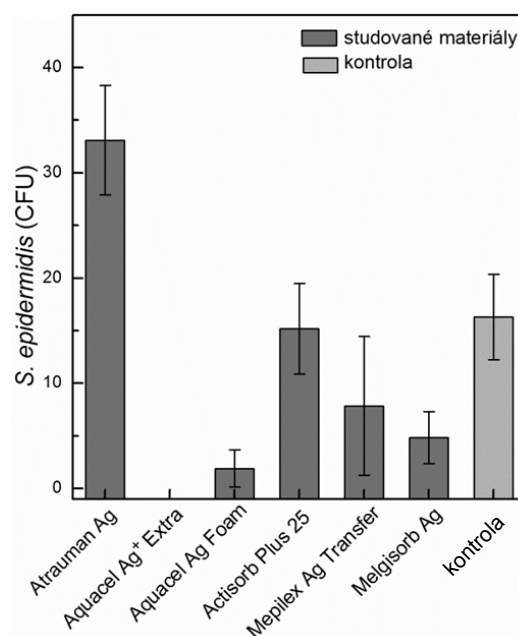
oproti množství uvolněnému ve vodě (tab. II). Menší množství uvolněného Ag z krytů ran s Ag ve formě AgCl bylo způsobeno efektem společného iontu Cl⁻ ve vodném roztoku NaCl a posunutím chemické rovnováhy již tak omezené disociace AgCl. Melgisorb Ag vykazoval opačný jev, ve FR se uvolnilo o 83 % více Ag než ve vodě. Alginát vápenatý má totiž schopnost iontové výměny Ag za jiné anorganické nebo organické ionty přítomné v roztoku¹⁴ a ve FR tak probíhala iontová výměna Ag za Na⁺ ionty. Z celkového množství Ag (tab. I) a Ag uvolněného do roztoku (tab. II) bylo vypočteno, že do FR se po 1 h uvolnilo ze vzorků následující množství Ag: Atrauman Ag 0 %; Aquacel Ag⁺ Extra 0,5 %; Aquacel Ag Foam 0,4 %; Actisorb Plus 25 0,2 %; Mepilex Transfer Ag 0,1 %; Melgisorb Ag 0,4 %. Ze srovnání plyne, že míra uvolněného Ag byla u všech krytů ran velmi nízká.

Nejméně Ag uvolňovaly vzorky Atrauman Ag a Actisorb Plus 25 (tab. II), které současně v testu metodou počítání kolonií nevykazovaly žádnou inhibici bakteriálního růstu, Atrauman Ag byl dokonce výrazně nad kontrolou, což může být způsobeno triglyceridovou masťou, kterou je vzorek pokryt kvůli lepší přilnavosti na ránu. Bakterie *E. coli* i *S. epidermidis* mají lipasovou aktivitu, a proto jsou schopné triglyceridy štěpit a konzumovat jako zdroj uhlíku¹⁵. Oba vzorky, jak Atrauman Ag, tak Actisorb Plus 25, měly nulovou zónu inhibice v diskovém difúzním testu (tab. III).

Nejlepší výsledky antibakteriálních vlastností byly pozorovány u krytů ran s obsahem Ag ve formě AgCl. Metodou počítání kolonií byl pozorován u těchto materiálů trend, kdy s rostoucí koncentrací uvolněného Ag rostla i schopnost eliminace bakteriálního růstu (v pořadí Melgisorb Ag, Aquacel Ag Foam a Aquacel Ag⁺ Extra). To odpovídá popsanému jevu souvislosti koncentrace volných Ag⁺ iontů v médiu s bakteriální letalitou⁹. Aquacel Ag⁺ Extra také jako jediný komerční materiál měl v diskových difúzních testech zóny inhibice u obou bakteriálních kmenů, zatímco Aquacel Ag Foam a Melgisorb Ag měly zóny inhibice pouze u kmene *S. epidermidis* (tab. III). Bakterie *E. coli* byly vůči účinku nižších koncentrací Ag odolnější, což souvisí s hodnotami minimální inhibiční koncentrace při odpovídající koncentraci použitého inokula¹⁶. Velikost

zóny inhibice odpovídala stejnému trendu jako v testu počítání kolonií, tedy čím vyšší koncentrace uvolněných Ag⁺ iontů, tím větší zóna inhibice⁹.

Zajímavý výsledek byl patrný u Mepilex Transfer Ag, který jako jediný obsahoval Ag ve formě Ag₂SO₄ v pórovité silikonové matrici. Ag₂SO₄ (rozpuštěnost 4,49 g l⁻¹) je na rozdíl od AgCl (rozpuštěnost 0,19 g l⁻¹) výborně rozpustný ve vodě^{17,18}, což bylo patrné při vylučích ve vodě, kdy se prakticky všechny Ag₂SO₄ z matrice vyluhoval. Naopak ve FR se po 1 h uvolnilo jen 1,54 mg l⁻¹, což bylo 86× méně než ve vodě (tab. II). V prostředí FR se totiž rozpuštěné ionty Ag⁺ vysrážely v pórovité struktuře ionty Cl⁻, a proto bylo detegováno tak nízké množství uvolněného Ag. Tímto jevem byly zásadně ovlivněny antibakteriální vlastnosti krytu Mepilex Transfer Ag.

Obr. 2. Počet kolonie tvořících jednotek *S. epidermidis* narostlých za 24 h na miskách s živným agarem v testu provedeném metodou počítání kolonií u jednotlivých krytů ran

V diskovém difuzním testu, kdy nedochází ke kontaktu vzorku s kapalinou, nedošlo ani k uvolnění Ag z pórovité silikonové matrice do agaru, a proto u tohoto krytu rány nevznikly zóny inhibice (tab. III).

V testu metodou počítání kolonií vykazoval Mepilex Transfer Ag přibližně poloviční eliminaci bakteriálního růstu oproti kontrole, avšak s velkým rozptylem hodnot, což odráží chybová úsečka tohoto výsledku (obr. 2). To bylo pravděpodobně způsobeno nehomogenním uvolněním Ag z pórovité matrice jednotlivých testovaných vzorků.

Závěr

Antibakteriální vlastnosti studovaných materiálů závisely nejen na sloučenině Ag, která byla použita, což ovlivnilo charakteristiku uvolňování Ag, ale také na složení a morfologii matrice, na které bylo Ag navázané. Nebyla pozorována souvislost mezi celkovým obsahem Ag v materiálu a množstvím uvolněného Ag. Uvolňování Ag z krytů ran u žádného vzorku nepřesáhlo 0,5 % z celkového obsaženého množství Ag.

Omezená rozpustnost použitých forem stříbra, zejména metalického Ag⁰ a AgCl a také vysrážení uvolněného Ag z krytů ran ve vodném prostředí bohatém na ionty Cl⁻ (ve formě AgCl), byly vyhodnoceny jako základní problémy snížené účinnosti nebo dokonce neúčinnosti krytů ran v antibakteriálních testech a tento jev nebyl vyvážen ani vysokým celkovým obsahem Ag v krytech ran. Antimikrobiální aktivita krytů rány je odvislá od celkového množství uvolněného Ag, tj. aktivních Ag⁺ iontů a ne celkového obsahu Ag, což bylo prokázáno u vzorků Aquacel Ag⁺ Extra, Aquacel Ag Foam a Melgisorb Ag.

Na základě zjištěných faktů lze říci, že při ošetřování ran těmito materiály je nutné maximálně eliminovat styk krytů ran s Cl⁻ ionty, zejména v oplachových roztocích a dezinfekčních prostředcích. Dle výsledků *in vitro* testů získaných metodou počítání kolonií a metodou inhibičních zón na reprezentativních Gram-pozitivních a Gram-negativních kmenech bakterií lze říci následující: (i) kryty ran Aquacel Ag⁺ Extra, Aquacel Ag Foam a Melgisorb Ag mají největší potenciál jako antibakteriální kryty ran ze souboru testovaných vzorků, (ii) naopak Atrauman Ag a Actisorb Plus 25 měly velice omezené uvolňování Ag dané formou obsaženého Ag a tím pádem žádné antibakteriální vlastnosti, (iii) zvláštním případem byl kryt rány Mepilex Transfer Ag, který je nutné aplikovat pouze na vlhkou ránu, aby došlo k uvolnění Ag.

Autoři děkují za finanční podporu Grantové agentuře ČR v projektu 17-00885S.

LITERATURA

1. Miller A. C., Rashid R. M., Falzon L., Elamin E. M., Zehtabchi S.: *J. Am. Acad. Dermatol.* 66, 159 (2012).
2. Lin Y. H., Hsu W. S., Chung W. Y., Ko T. H., Lin J. H.: *J. Mater. Sci.: Mater. Med.* 25, 1375 (2014).
3. Abboud E. C., Settle J. C., Legare T. B., Marcet J. E., Barillo D. J., Sanchez J. E.: *Burns* 40 *Supplement 1*, S30 (2014).
4. Vosmanská V., Kolářová K., Rimpelová S., Kolská Z., Švorčík V.: *RSC Adv.* 5, 17690 (2015).
5. Pišlová M., Kolářová K., Vosmanská V., Kvítek O., Švorčík V.: *Chem. Listy* 109, 942 (2015).
6. Kolarova K., Vosmanska V., Rimpelova S., Ulbrich P., Svorcik V.: *J. Nanosci. Nanotechnol.* 15, 10120 (2015).
7. Siegel J., Polívková M., Staszek M., Kolářová K., Rimpelová S., Švorčík V.: *Mater. Lett.* 145, 87 (2015).
8. Siegel J., Kolářová K., Vosmanská V., Rimpelová S., Leitner J., Švorčík V.: *Mater. Lett.* 113, 59 (2013).
9. Atiyeh B. S., Costagliola M., Hayek S. N., Dibo S. A.: *Burns* 33, 139 (2007).
10. Chernousova S., Epple M.: *Angew. Chem. Int. Ed.* 52, 1636 (2013).
11. Prabhu S., Poulouse E.: *Int. Nano Lett.* 2, 1 (2012).
12. Marx D. E., Barillo D. J.: *Burns* 40 *Supplement 1*, S9 (2014).
13. Rai M. K., Deshmukh S. D., Ingle A. P., Gade A. K.: *J. Appl. Microbiol.* 112, 841 (2012).
14. Yunoki S., Kohta M., Ohya Y., Iwasaki T.: *Plast. Surg. Nurs.* 35, 203 (2015).
15. Simons J. W. F. A., van Kampen M. D., Riel S., Götz F., Egmond M. R., Verheij H. M.: *Eur. J. Biochem.* 253, 675 (1998).
16. Zhao G, Stevens E. Jr.: *BioMetals* 11, 27 (1998).
17. Davies C., Jones A.: *Trans. Faraday Soc.* 51, 812 (1955).
18. Vinning W., Day R., Botch B.: *General Chemistry*. Brooks Cole, Pacific Grove 2014.

V. Vosmanská, K. Kolářová, and V. Švorčík
(Department of Solid State Engineering, University of Chemistry and Technology, Prague): **Comparison of Antibacterial Activity of Silver Wound Dressings**

In present work, antibacterial properties of wound dressings containing silver were compared by standardized procedure *in vitro*. Wound dressings were namely Atrauman Ag, Aquacel Ag⁺ Extra, Aquacel Ag Foam, Actisorb Plus 25, Mepilex Transfer Ag and Melgisorb Ag which are commonly used for the therapy of infected non-healing wounds. The amount of released silver differed substantially according to the environment. The main problems of reduced Ag release were caused by Cl⁻ ions. In the environment simulating human body, the Ag release was reduced by 64–99 % which was the main cause of diminished or no antibacterial activity. Based on the results of the *in vitro* tests, for healing of infected wounds it could be recommended to use wound dressings made of sodium salt of carboxy methylcellulose or sodium alginate doped with silver in the form of AgCl.