

Prva in nujna medicinska pomoč pri politjih s fluorovodikovo kislino

First aid and emergency treatment after hydrofluoric acid splash

Miran Brvar, Marija Jamšek, Martin Možina

Center za zastupitve,
Interna klinika,
Univerzitetni klinični
center Ljubljana,
Zaloška 7, 1525 Ljubljana

Korespondenca/ Correspondence:

doc. dr. Miran Brvar,
dr.med.,
Center za zastupitve,
Interna klinika,
Univerzitetni klinični
center Ljubljana,
Zaloška 7, 1000 Ljubljana
e-mail: miran.brvar@
kclj.si

Ključne besede:

fluorovodikova kislina,
kemične nesreče,
prva pomoč, izpiranje,
heksafluorin

Key words:

Hydrofluoric acid,
chemical accidents,
first aid, washing,
hexafluorine

Citirajte kot/Cite as:

Zdrav Vestn 2010;
79: 643–650

Prispelo: 23. mar. 2010,
Sprejeto: 8. jun. 2010

Izvelek

Izhodišča: Kemikalije uporabljajo v vseh gospodarskih dejavnostih in petina vseh delavcev dela z nevarnimi kemikalijami. Fluorovodikova kislina (HF) je ena najbolj nevarnih anorganskih kislin, uporabljajo pa jo v elektronski, kemični, steklarski, kovinski, avtomobilski in naftni industriji. HF ima dvojno delovanje, jedko in toksično, kar je posledica sinergističnega delovanja vodikovih (H^+) in fluoridnih (F^-) ionov. Ob stiku s kožo in z očmi HF povzroči hudo kemično poškodbo in omogoči prodor fluoridnih ionov v tkiva ter sistemsko zastupitev s hipokalcemijo in z motnjami srčnega ritma.

Zaključek: Kemične poškodbe ob politjih s HF lahko preprečimo z osebni zaščitnimi sredstvi in s takojšnjo dekontaminacijo, ker se prodiranje HF skozi povrhnjico kože in roženico zrkla začne že v prvi minuti po politju. Prva pomoč z izpiranjem z vodo in mazanjem s kalcijevimi pripravki je nepredvidljiva in ima nekaj omejitev, medtem ko je pravočasno izpiranje oči in kože s heksafluorinom zelo učinkovito in lahko popolnoma prepreči nastanek kemične poškodbe in sistemske zastupitve.

Abstract

Introduction: Chemicals are used in all kinds of industry and one fifth of workers have dealt with dangerous chemicals. Hydrofluoric acid (HF) is one of the most dangerous inorganic acids; it is used in the electronics, chemical, glass, steel, car and oil industry. HF has a double action, being both corrosive and toxic due to the synergistic action of H^+ and F^- ions. On contact with the skin and eyes, HF causes severe chemical burns, which allow diffusion of F^- into the tissues, and systemic toxicity with cardiac rhythm disturbances due to hypocalcemia.

Conclusions: Chemical burns due to HF splashes can be prevented by wearing personal protective gear and immediate decontamination since HF penetration through the epidermis and cornea begins within the first minute. First aid by washing with water followed by topical application of calcium gluconate has several limitations and is unpredictable, while ocular and cutaneous washing with hexafluorine is very effective and can completely prevent chemical burns and systemic toxicity after HF splash.

Uvod

Kemikalije uporabljajo v vseh gospodarskih dejavnostih, zato je zagotavljanje varnosti pri delu s kemikalijami izredno pomembno. Nedavna raziskava o delu s kemikalijami v EU je pokazala, da 16 % delavcev dela z nevarnimi kemikalijami.¹ V Sloveniji se s kemikalijami letno ponesreči približno 750 delavcev, od tega ima 75 % ponesrečenec kemične poškodbe kože, 20 % ponesrečenec pa kemične poškodbe oči, predvsem zaradi jedkega delovanja baz in kislin.¹ Ena

najnevarnejših anorganskih kislin je fluorovodikova kislina (HF, CAS 7664–39–3), ki jo uporabljajo v elektronski, kemični, steklarski, kovinski, avtomobilski in naftni industriji za luženje kovin, jedkanje, brušenje in poliranje stekla in keramike itd. Pri oceni tveganja nesreč s HF v Sloveniji moramo upoštevati, da je industrijska uporaba HF zelo razširjena, saj smo v Sloveniji samo lani porabili 305 ton HF. Pomembno je tudi dejstvo, da vsako skladiščenje, pretovarjanje in delo z nevarnimi kemikalijami neizogibno

Tabela 1: Tveganje smrti po politju s fluorovodikovo kislino (HF) je odvisno od koncentracije HF in polite površine telesa.⁶

	Koncentracija HF (%)	Delež telesne površine s kemično poškodbo po politju s HF (%)
Kemična poškodba kože	Anhidrid	1
	> 70	5
	50–70	7
	20–50	10
	< 20	20
Vdihovanje HF	> 5	/

vodi v kemične nesreče, kar velja na žalost tudi za smrtno nevarno HF.

Delovanje HF

HF je brezbarvna in hlapljiva tekočina z močnim dražečim vonjem. Kemijsko HF uvrščamo med šibke kisline ($pK_a = 3,2$), vendar lahko kljub temu ob stiku s kožo in z očmi povzroči hudo zastrupitev. Ob politju s HF se lahko zastrupimo tudi z vdihavanjem njenih hlapov, saj ima vrelišče pri $19,5\text{ }^\circ\text{C}$.²

HF ima zaradi sinergističnega delovanja vodikovih (H^+) in fluoridnih ionov (F^-) dvojno delovanje, jedko in toksično.³ Vodikovi ioni (H^+) ob stiku s kožo ali z očmi delujejo jedko in povzročijo kemično poškodbo povrhnjice kože in roženice zrkla ter s tem omogočijo prodor fluoridnih ionov (F^-) v tkiva.^{3,4} V tkivih fluoridni ioni neposredno zavirajo celične encime, predvsem metaloproteinaze, in vežejo kalcijeve (Ca^{2+}) in magnezijeve (Mg^{2+}) ione ter s tem še dodatno posredno vplivajo na presnovne procese ter

uničujejo celice in tkiva.^{3,4} HF v tkivu povzroči likvifikacijsko nekrozo, kar ji za razliko od ostalih anorganskih kislin, ki povzročajo koagulacijsko nekrozo tkiv s precipitacijo proteinov, omogoča globlji prodor v tkiva in posledično obsežnejšo lokalno kemično poškodbo ter sistemsko zastrupitev.⁵ Sistemska zastrupitev s HF je odvisna zlasti od obsega prodora fluoridnih ionov v tkiva, kar sovпада s koncentracijo pripravka HF in s površino politega telesa (Tabela 1) ter tudi s časom stika.⁶

Kemična poškodba kože po politju s HF

Pojav bolečine in kožnih sprememb po politju s HF je odvisen od koncentracije HF. Po politju s HF visoke koncentracije se bolečina pojavi takoj, po politju s HF nizke koncentracije pa se lahko bolečina pojavi šele čez nekaj ur oz. celo še čez en dan (Tabela 2).⁷ Polita koža z visokokoncentrirano HF hitro pordi in rahlo oteče, nato se postopno obarva v belo-sivo barvo in obda z vijoličastim obročem,⁸ v primerih politja z nizkokoncentrirano HF pa se kožne spremembe pojavijo z zakasnitvijo. Pri politjih s HF pogosto opažamo nesorazmerje med jakostjo bolečine in obsegom kožnih spremembam, zlasti pri politjih s koncentrirano HF, kjer je bolečina takojšnja in zelo huda, kožne spremembe pa na videz še niso tako hude. Histološke spremembe vrhnje plasti povrhnjice kože se pojavijo 1 minuto po politju s 70-odstotno HF, po 5 minutah pa so vidne tudi že spremembe v globljih plasteh usnjice,⁹ zato lahko razvoj kemične poškodbe preprečimo



Slika 1: Kemična poškodba zgornjega uda in telesa po politju s fluorovodikovo kislino.

Tabela 2: Kemična poškodba kože in bolečina sta odvisni od koncentracije fluorovodikove kisline (HF).⁷

Koncentracija HF (%) /	Bolečina in kožne spremembe
> 50	takojšnja bolečina z vidno poškodbo tkiva
20–50	bolečina in kožni eritem se pojavita 1 do 8 ur po politju
< 20	bolečina in kožni eritem se pojavita 24 ali več ur po politju

le s takojšnjim izpiranjem kože. V primeru daljše izpostavljenosti HF postane pordela koža sivo- do črnovijoličaste barve ter močno oteče in boli. V naslednjih dneh se razvije kožni mehur z rjavo tekočino ali modro-črnim strdkom in kožna razjeda. Ob prodoru v globino lahko HF povzroči tudi demineralizacijo kosti, na primer kosti prstnih členkov.¹⁰ Na prizadetih prstih so lahko zelo prizadeta nohtna ležišča, medtem ko je površina nohta še v redu. Celjenje kemične poškodbe kože, ki jo povzroči HF, je dolgotrajno in se pogosto konča s keloidno brazgotino, poleg tega pa prizadeta koža lahko ostane dolgo časa boleča in preobčutljiva na mraz, čemur se pridružijo še psihične težave ponesrečenca (Slika 1).¹¹

Kemična poškodba očesa po brizgu HF

HF pri kemičnih nesrečah pogosto brižgne v oči, posebno to velja pri politjih obraza. V nasprotju z večino anorganskih kislin (npr. klorovodikova in žveplena kislina), ki ostanejo omejene na epitel roženice zaradi koagulacijske nekroze,³ začne že samo 2,5-odstotno HF prodirati skozi roženico že po 10 sekundah in prodre skozi v 240 sekundah.¹² HF ob stiku z očmi najprej povzroči edem, perilimbalno ishemijo in opacifikacijo roženice, nato poškoduje še sprednji prekat, lečo, šarenico in tudi beločnico. Ob brizgu HF sta pogosto poškodovani tudi veznici in vekci, neredko pa nesreča s HF povzroči trajno okvaro vida ali celo slepoto.¹²⁻¹⁴

Kemična poškodba ob vdihu HF

Ob kemičnih nesrečah s HF lahko ponesrečenci tudi vdihnejo hlape HF. Pojav kliničnih znakov po vdihu HF je odvisen od koncentracije HF. Pri vdihovanju nizkokoncentrirane HF so znaki blagi, pri vdihava-

vanju visokokoncentrirane HF pa so znaki zastrupitve takojšnji in hudi.¹⁵ Ponesrečenci po vdihu začutijo pekočo bolečino v žrelu in prične jih dušiti.¹⁵ Pri pregledu ponesrečenca najdemo pordelo sluznico z razjedami zgornjih dihalnih poti, znake kemičnega pnevmonitisa in sistemske zastrupitve, ki se lahko pojavijo po latentni dobi, ki traja do 36 ur.^{2,10,15}

Sistemska zastrupljenost zaradi HF

HF povzroči sistemske znake zastrupitve zaradi neposredne toksičnosti in kela-cijske sposobnosti fluoridnih ionov. F⁻ veže predvsem Ca²⁺ in Mg²⁺ in s tem povzroči elektrolitsko neravnovesje s posledičnimi motnjami biokemičnih celičnih procesov. Elektrolitsko neravnovesje je sprva omejeno na območje politja s HF, nato pa se razširi po celem telesu in se kaže kot hipokalcemija¹⁶⁻²⁰ in hipomagnezemija¹⁶⁻¹⁸ ter hiperkaliemija,²¹ ki je posledica povečane prepustnosti celičnih membran in poškodbe tkiv. Smrtno nevarna hipokalcemija se lahko razvije v nekaj minutah do urah po politju 1 % telesne površine z visokokoncentrirano HF ali po politju več kot 5 % telesa z razredčeno HF.^{16,22} Klinično se hipokalcemija, hipomagnezemija in hiperkaliemija pokažejo z mišično oslabeledostjo in s hipoventilacijo ter z motnjami srčnega ritma, na primer z ventrikularno tahikardijo in fibrilacijo, ki sta odporni na običajno zdravljenje.^{6, 11,14,16-26}

Prva pomoč po politju s HF

V primeru politja z nevarnimi kemikalijami veljajo osnovna pravila prve pomoči: zapustimo mesto nesreče, odstranimo obleko in v primeru politja oči tudi kontaktne leče, čim hitreje začnemo z izpiranjem kože in/ali oči ter pokličemo pomoč. Nikoli ne

Tabela 3: Navodila za izpiranje kože s Hexafluorinom[®] po politju s fluorovodikovo kislino (HF).

▶	Zapustimo mesto nesreče.
▶	Odstranimo obleko.
▶	Pokličemo pomoč.
▶	Izpiranje s Hexafluorinom [®] pričnemo čim hitreje v prvi minuti po politju s HF, zato moramo imeti prenosni tuš vedno v prostoru s HF.
▶	Med izpiranjem izpraznimo celoten rezervoar prenosnega tuša Hexafluorina [®] (5 litrov).
▶	Če z izpiranjem nismo pričeli v prvi minuti po politju s HF, moramo vseeno čim hitreje pričeti izpirati s Hexafluorinom [®] , vendar mora izpiranje trajati 3- do 5-krat toliko časa, kot je minilo od politja s HF. Ponesrečenca po končanem zakasnelem izpiranju namažemo še z gelom kalcijevega glukonata.
▶	Po vsakem stiku s fluorovodikovo kislino se vedno posvetujemo z zdravnikom.

smemo odlašati z izpiranjem, tudi če takoj po politju nimamo težav, ker se lahko pojavijo kasneje, na primer pri politju z razredčeno HF.^{11,27}

Priporočena prva pomoč po politju s HF je do sedaj vključevala čim hitrejše izpiranje izpostavljenega predela telesa z vodo in mazanje s kalcijevimi pripravki,²⁸ vendar je takšna prva pomoč učinkovita le pri manjših politjih kože z nizkokoncentrirano HF,^{29,30} ne pa pri obsežnih politjih in politjih z visokokoncentrirano HF.¹⁷⁻¹⁹ Velika količina vode med izpiranjem z mehanskim učinkom odstrani HF s površine telesa in kislino v stiku s telesom razredči, s čimer zmanjša oziroma prepreči jedko poškodbo tkiv in prodiranje HF v telo. Žal je izpira-

nje z vodo pri politjih s HF učinkovito le v prvih 10 sekundah po politju, kar pa je po izkušnjah v industriji skoraj neizvedljivo, saj so varnostni vodni tuši pritrjeni na stenah in stropih in zato niso dosegljivi v 10 sekundah, zaradi česar se izpiranje z vodo običajno prične prepozno. Poleg tega je voda običajno hladna in se je poškodovanec brani, kar še dodatno zmanjša učinkovitost izpiranja z vodo, hkrati pa lahko daljše izpiranje s hladno vodo povzroči tudi podhladitev ponesrečenca. Voda ima pri izpiranju politij s HF še eno pomembno slabost – hipotoničnost glede na tkiva. Voda tako hitro prodira v poškodovana tkiva in s tem hkrati pospešuje tudi prodiranje HF v telo, s čimer lahko celo poslabša kemično poškodbo in sistemsko zastrupitev s HF.³¹ Ker je izpiranje z vodo nepredvidljivo in ima nekaj omejitev, pri prvi pomoči po politjih s HF običajno poleg izpiranja z vodo priporočajo še mazanje prizadetih predelov kože s kalcijevim glukonatom. Kalcij veže fluoridne ione in prepreči njihov prodor v tkiva ter razvoj hipokalcemije. Žal pa ima tudi kalcijev glukonat številne pomanjkljivosti: ne deluje na vodikove ione in tako ne prepreči jedkega delovanja HF, ima omejen učinek na bolečino, mazanje kože je potrebno ponavljati, v oko pa ga ne smemo dajati, predvsem pa učinek kalcijevega glukonata pri politjih s HF ni zanesljiv. Zaključimo lahko, da voda in kalcijev glukonat nista idealna pripomočka za dekontaminacijo po politjih s HF.

Idealni pripomoček za prvo pomoč po politjih s HF bi moral zelo hitro odstraniti



Slika 2: Stenska postaja Hexafluorina[®] za izpiranje oči in manjših politij kože s fluorovodikovo kislino. Dvema plastenkama Hexafluorina[®] (2 x 500 ml) je priložena tuba kalcijevega glukonata in plastenka Afterwash II[®] za spiranje oči po končani dekontaminaciji, s čimer hitreje vzpostavimo fiziološko stanje.

Tabela 4: Navodila za izpiranje oči s Hexafluorinom® po politju s fluorovodikovo kislino (HF).

▶	Zapustimo mesto nesreče.
▶	Pokličemo pomoč.
▶	Izpiranje s Hexafluorinom® pričnemo čim hitreje v prvi minuti po brizgu HF v oko, zato morajo biti plastenke Hexafluorina® nameščene v vseh prostorih s HF.
▶	Kontaktne leče odstranimo čim hitreje, da preprečimo kopičenje HF pod kontaktnimi lečami in omogočimo učinkovitejšo izpiranje oči.
▶	Oči izpiramo 3 minute in pri tem izpraznimo celo 500-mililitrsko plastenko ali prenosno vrečko Hexafluorina®.
▶	Če z izpiranjem nismo pričeli v prvi minuti po brizgu HF v oko, moramo vseeno čim hitreje pričeti izpirati s Hexafluorinom® in nato izpirati 3- do 5-krat toliko časa, kot je minilo od politja s HF, vendar ne več kot 15 minut.
▶	Po končanem izpiranju s Hexafluorinom® oko speremo še s priloženo izotonično raztopino Afterwash II® in s tem pospešimo vzpostavitev fiziološkega stanja očesa.
▶	Po vsakem stiku s HF se vedno posvetujemo z zdravnikom.

HF s površine telesa in preprečiti njen prodor v tkiva, s čimer bi preprečil oziroma zaustavil jedko delovanje vodikovih ionov in toksično delovanje fluoridnih ionov. Idealnemu sredstvu za prvo pomoč po politjih s HF trenutno najbolj ustreza amfoterna, kelirajoča in hipertonična raztopina heksafluorina (Hexafluorine®, Prevor), ki se je izkazala za izredno uspešno dekontaminacij-

sko sredstvo pri številnih kemičnih nesrečah s HF, saj ponesrečenci s HF po izpiranju s heksafluorinom niso imeli posledic ali pa so bile minimalne.^{6,32-35} Heksafluorin je tekočina in pri izpiranju obdrži koristen mehaniški in dilucijski učinek vode. V nasprotju z vodo pa ima heksafluorin tudi absorpcijsko sposobnost za HF in tako poleg pasivne dekontaminacije omogoča še aktivno dekontaminacijo.³⁶ Kelacijska moč heksafluorina za vodikove in fluoridne ione je namreč tudi do 100-krat večja od kelacijske sposobnosti kalcijevega glukonata, saj lahko ena molekula heksafluorina veže 3 vodikove ione in 6 fluoridnih ionov ter s tem prepreči oziroma zaustavi jedko in toksično delovanje HF.^{33,36} Heksafluorin se pomembno razlikuje od hipotonične vode tudi v tem, da je hipertonična raztopina in s tem dodatno zaustavlja prodiranje HF ter vodikovih in fluoridnih ionov v poškodovana tkiva oziroma lahko celo spremeni smer osmotskega gibanja HF, H⁺ in F⁻ in ustvari tok HF, H⁺ in F⁻ iz tkiv proti površini kože ali oči.^{12,31,36,37} Dekontaminacija s heksafluorinom je tako veliko učinkovitejša od dekontaminacije z vodo in prepreči oziroma zmanjša jedko in toksično delovanje HF, saj lahko prepreči nastanek hipokalcemije.^{32,33,38}

Najpomembnejša prednost izpiranja s heksafluorinom po politju s HF glede na izpiranje z vodo in mazanje s kalcijevim glukonatom pa je daljši intervencijski čas za še uspešno dekontaminacijo.³⁶ Učinkovito



Slika 3: Prenosni tuš s 5 litri Hexafluorina® za dekontaminacijo kože celega telesa po politju s fluorovodikovo kislino.

izpiranje s heksafluorinom se lahko namreč začne do 60 sekund po politju s HF, medtem ko se učinkovitost izpiranja z vodo zmanjša že po pretečenih 10 sekundah po politju. V dosedanjih kemijskih nesrečah v industriji in v laboratorijih učinkovito izpiranje z vodo v 10 sekundah praktično ni bilo izvedljivo, medtem ko je bilo učinkovito izpiranje s heksafluorinom v 60 sekundah skoraj vedno izvedljivo, kajti heksafluorin je shranjen v zelo priročnih in ergonomsko oblikovanih pripomočkih za izpiranje. To so 500-mililitrske plastenke za oči (Slika 2) in prenosni tuši za kožo celega telesa (5 litrov, *angl.* autonomous portable shower, DAP) (Slika 3), ki so postavljeni ali pritrjeni na vidnih in priročnih mestih v prostorih, kjer se nahaja HF, tako da jih lahko ponesrečenci takoj uporabijo.³⁶ Številni primeri izpiranja ponesrečencev s HF v kemijski industriji so potrdili, da lahko z izpiranjem s heksafluorinom v 60 sekundah po politju s HF popolnoma preprečimo lokalno in sistemsko zastrupitev s HF ter s tem praktično odpravimo zapleteno zdravljenje in odsotnost z dela, ki sta sicer v primerih kemičnih poškodb s HF lahko zelo dolgotrajna.^{32,33} V primeru brizga HF v oči ima heksafluorin še eno odločilno prednost pred vodo in kalcijevim glukonatom, saj lahko s heksafluorinom zelo učinkovito speremo oči, medtem ko nanašanje kalcijevega glukonata v oči ni priporočljivo zaradi nevarnosti tvorjenja precipitativ in dodatnih poškodb roženice.¹²

Zavedati pa se moramo, da je izpiranje s heksafluorinom nadomestilo za izpiranje z vodo, ki pa lahko zaradi svoje učinkovitosti nadomesti tudi mazanje s kalcijevim glukonatom. Če izvedemo izpiranje s heksafluorinom pravočasno, to je v prvi minuti po politju s HF, ni potrebno dodatno mazanje s kalcijevim glukonatom. S kalcijevim glukonatom pa moramo prizadeto kožo namazati v vseh primerih, ko izpiranje s heksafluorinom ni izvedeno pravočasno. Hkrati pa moramo v takšnih primerih izpiranje kože s heksafluorinom izvajati daljši čas, najmanj 3- do 5-krat toliko časa, kot je minilo od politja s HF in šele nato prizadeto kožo namazati s kalcijevim glukonatom, ki je za takšne primere tudi priložen plastenkam heksafluorina (Slika 2).³⁶ Izpiranje s heksafluorinom

moramo podaljšati tudi pri brizgu HF v oči, če se izpiranje ni pričelo pravočasno, to je v prvi minuti po vbrizgu. V teh primerih moramo oči izpirati najmanj 3- do 5-krat toliko časa, kot je minilo od politja s kemikalijo, vendar ne dlje od 15 minut. Pri prepozmem pričetku izpiranja kože ali oči se moramo zavedati, da je kemična poškodba že nastala in da zakasnelo izpiranje le zaustavi njeno večanje ter omili znake, kar pa vseeno pripomore k pomembnemu zmanjšanju posledic kemične nesreče. Za primere prepoznega in zato podaljšanega izpiranja kože in oči potrebujemo tudi večjo količino heksafluorina, zato moramo imeti v prostorih s HF vedno na razpolago več plastenk in tušev heksafluorina oziroma najmanj dve plastenki in dva tuša za vsakega potencialnega ponesrečenca s HF. Ob tem pa moramo skrbeti tudi za redno obnavljanje zaloga heksafluorina, ki ima rok uporabnosti 2 leti.

Ne glede na vrsto in uspešnost dekontaminacije in nudeno prvo pomoč na mestu politja s HF v kemičnem laboratoriju ali tovarni pa morajo vsi ponesrečenci s HF še na zdravniški pregled (Tabeli 3 in 4).

Zdravljenje kemične poškodbe in sistemske zastrupitve s HF

Ponesrečence s kemičnimi poškodbami kože in/ali oči in s posledičnim pojavom sistemske zastrupitve s HF zaradi prepozne ali nepravilne dekontaminacije zdravimo s kalcijevim glukonatom, ki ga dajemo površinsko, podkožno ali v veno oz. arterijo.³⁵ Pri kemičnih poškodbah kože s HF naneseemo 2,5-odstotni do 10-odstotni kalcijev glukonat na površino poškodovane kože ali pa ga vbrizgamo podkožno, s čimer poskušamo zlasti zmanjšati bolečino. Podkožno vbrizgavanje kalcijevega glukonata je primerno pri kemičnih poškodbah manjših površin kože na glavi, vratu, trupu in tudi na udih, na primer na konicah prstov.^{6,40} Priporočeni podkožni odmerek 5- do 10-odstotnega kalcijevega glukonata je 0,5 ml/cm² (površina prizadete kože) v 1- do 2-urnih intervalih (do največ trikrat).^{6,39} Pri obsežnejših kemičnih poškodbah udov lahko kalcijev glukonat vbrizgamo tudi v arterijo, ki prehranjuje prizadeti predel telesa, na primer roko

in prste.^{6,40} 10 ml 10-odstotnega kalcijevega glukonata razredčimo v 50 ml 5-odstotne glukoze in ga v obliki počasne 4-urne infuzije damo v brahialno ali radialno arterijo.⁴⁰

Vsem ponesrečencem s HF in kemično poškodbo, večjo od 1% telesne površine, moramo čim hitreje izmeriti serumsko raven kalcija, kalija, magnezija in fosfata ter jih nato spremljati tudi med zdravljenjem. Hipokalcemija se lahko pokaže s podaljšano dobo QT na posnetkih EKG. Hipokalcemijo zdravimo z intravenskimi odmerki 10 ml 10-odstotnega kalcijevega glukonata, ki jih lahko ponavljamo na 5–10 minut,^{10,39,40} medtem ko hipomagnezemijo zdravimo z intravenskimi odmerki 20 ml 20-odstotnega magnezijevega sulfata v 20-minutnih infuzijah.¹⁵ Kemične poškodbe močno bolijo, zato moramo ponesrečencem dodatno lajšati bolečine tudi z analgetiki.

Ob sumu na vdihovanje hlapov HF damo ponesrečencem kisik in poskrbimo za prehodnost dihalne poti ter po potrebi pričnemo z umetnim predihavanjem. Ponesrečencem s kemičnim pnevmonitisom lahko damo tudi inhalacije 2,5-odstotnega kalcijevega glukonata, vendar učinkovitost inhalacij ni nedvoumno potrjena^{10,39}. Bolnišnično zdravljenje ponesrečencev s kemičnimi poškodbami po politjih s HF poteka na travmatoloških oddelkih ali oddelkih za plastično kirurgijo zaradi kirurške oskrbe poškodovanih tkiv. V primeru kemične poškodbe konice prstov s HF odstranimo nohte zaradi možnega kopičenja HF pod nohti.

Vse ponesrečence s kemičnimi poškodbami očeš mora pregledati oftalmolog. Zdravljenje poškodbe očesa s HF je podobno zdravljenju kemičnih poškodb z drugimi kislinami in vključuje uporabo cikloplegikov, kortikosteroidov, antibiotikov, analgetikov, zaviralcev adrenergičnih receptorjev beta, umetnih solz, mehkih kontaktnih leč in tudi kirurško zdravljenje.⁴¹ V vseh primerih izpostavljenosti ali zastrupitve s HF pa svetujemo tudi čim hitreje posvetovanje z dežurnim kliničnim toksikologom.

Zaključek

Z izpiranjem s heksafluorinom v prvi minuti po politju s HF in z odstranitvijo oblačil

in/ali kontaktnih leč lahko popolnoma preprečimo nastanek kemične poškodbe oči in kože ter sistemske zastrupitve s HF.

Literatura

1. Ministrstvo za zdravje, Urad RS za kemikalije. Kemijsko VAREN.si. Ministrstvo za zdravje, Urad RS za kemikalije. Dosegljivo na: <http://info.kemikalije.org>.
2. Agency for Toxic Substances and Disease. Medical management guidelines for hydrogen fluoride Registry, Mar 2010. Dosegljivo na <http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mmg11.html>.
3. McCulley JP, Whiting DW, Pettit MG, Lauber SE. Hydrofluoric acid burns of the eye. *J Occup Med* 1983; 25: 447–50.
4. Boink ABTJ, Meulenbelt J. Systemic fluoride poisoning following dermal hydrofluoric acid exposure: development of an intravenous sodium fluoride infusion model in rats. *J Toxicol Cut and Ocular Toxicol* 1995; 14: 75–87.
5. Dibbell DG, Iverson RE, Jones W, Laub DR, Madison MS. Hydrofluoric acid burns of the hand. *J Bone Joint Surg Am* 1970; 52: 931–6.
6. Dünser MW, Ohlbauer M, Rieder J, Zimmermann I, Ruatti H, Schwabegger AH, idr. Critical care management of major hydrofluoric acid burns: a case report, review of the literature, and recommendations for therapy. *Burns* 2004; 30: 391–8.
7. Segal EB. First aid for unique acid, HF: a sequel. *Chemical Health and Safety* 2000; 7: 18–23.
8. Rusch G, Mathieu L, Hall AH, MacKinnon M, Padgett E. Skin decontamination of 49 % and 60 % HF: relation between burn model and decontamination in an immature domestic pig. *J Toxicol Clin Toxicol* 2004; 42: 420.
9. Mathieu L, Lati E, Burgher F, Gasser P, Hall AH, Peno-Marzzarino L, idr. Valuation of lesions caused by hydrofluoric acid on ex vivo human skin and decontamination with tap water + calcium gluconate or Hexafluorine®. EAPCCT congress; 2009 May 12–15; Stockholm, Sweden.
10. Ly BT. Hydrogen fluoride and hydrofluoric acid. V: Olson KR. Poisoning and drug overdose. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2004. Str. 221–4.
11. Možina M, Jamšek M, Šarc L, Grenc D, Brvar M. Zastrupitve. V: Kocjančič A, Mrevlje F, Štajer D, ur. *Interna medicina*. Ljubljana: Littera picta; 2005. Str. 1143–507.
12. Spöler F, Frentz M, Först M, Kurz H, Schrage NF. Analysis of hydrofluoric acid penetration and decontamination of the eye by means of time-resolved optical coherence tomography. *Burns* 2008; 34: 549–55.
13. Gérard M, Josset P, Louis V, Menerath JM, Blomet J, Merle H. Is there a delay in bathing the external eye in the treatment of ammonia eye burns? Comparison of two ophthalmic solutions: physiological serum and Diphotérine. *J Fr Ophthalmol* 2000; 23: 449–58.
14. Rubinfeld RS, Silbert DI, Arentsen JJ, Laibson PR. Ocular hydrofluoric acid burns. *Am J Ophthalmol* 1992; 114: 420–3.
15. Su M. Hydrofluoric acid and fluorides. V: Florenbaum NE, Howland MN, Goldfrank LR, idr,

- ur. Goldfrank's Toxicologic Emergencies. 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2006. Str. 1417–24.
16. Chan KM, Svancarek WP, Creer M. Fatality due to acute hydrofluoric acid exposure. *J Toxicol Clin Toxicol* 1987; 25: 333–9.
 17. Tepperman PB. Fatality due to acute systemic fluoride poisoning following a hydrofluoric acid skin burn. *J Occup Med* 1980; 22: 691–2.
 18. Mayer TG, Gross PL. Fatal systemic fluorosis due to hydrofluoric acid burns. *Ann Emerg Med* 1985; 14: 149–53.
 19. Mullett T, Zoeller T, Bingham H, Pepine CJ, Prida XE, Castenholz R, idr. Fatal hydrofluoric acid cutaneous exposure with refractory ventricular fibrillation. *J Burn Care Rehabil* 1987; 8: 216–9.
 20. Sanz-Gallén P, Nogué S, Munné P, Faraldo A. Hypocalcaemia and hypomagnesaemia due to hydrofluoric acid. *Occup Med* 2001; 51: 294–5.
 21. Burke WJ, Hoegg UR, Phillips RE. Systemic fluoride poisoning resulting from a fluoride skin burn. *J Occup Med* 1973; 15: 39–41.
 22. Greco RJ, Hartford CE, Haith LR Jr, Patton ML. Hydrofluoric acid-induced hypocalcemia. *J Trauma* 1988; 28: 1593–6.
 23. Bordelon BM, Saffle JR, Morris SE. Systemic fluoride toxicity in a child with hydrofluoric acid burns: case report. *J Trauma* 1993; 34: 437–9.
 24. Björnhagen V, Höjer J, Karlson-Stiber C, Seldén AI, Sundbom M. Hydrofluoric acid-induced burns and life-threatening systemic poisoning—favorable outcome after hemodialysis. *J Toxicol Clin Toxicol* 2003; 41: 855–60.
 25. Sheridan RL, Ryan CM, Quinby WC Jr, Blair J, Tompkins RG, Burke JF. Emergency management of major hydrofluoric acid exposures. *Burns* 1995; 21: 62–4.
 26. Muriale L, Lee E, Genovese J, Trend S. Fatality due to acute fluoride poisoning following dermal contact with hydrofluoric acid in a palynology laboratory. *Ann Occup Hyg* 1996; 40: 705–10.
 27. Brvar M. Zastrupitve. V: Ahčan U. Prva pomoč : priročnik s praktičnimi primeri. 1. izd. Ljubljana: Rdeči križ Slovenije; 2006. Str. 153–75.
 28. Beiran I, Miller B, Bentur Y. The efficacy of calcium gluconate in ocular hydrofluoric acid burns. *Hum Exp Toxicol* 1997; 16: 223–8.
 29. Kono K, Yoshida Y, Watanabe M, Tanioka Y, Dote T, Orita Y, idr. An experimental study on the treatment of hydrofluoric acid burns. *Arch Environ Contam Toxicol* 1992; 22: 414–8.
 30. Henry JA, Hla KK. Intravenous regional calcium gluconate perfusion for hydrofluoric acid burns. *J Toxicol Clin Toxicol* 1992; 30: 203–7.
 31. Schrage NF, Rihawi R, Frentz M, Reim M. Acute therapy for eye burns. *Klin Monbl Augenheilkd* 2004; 221: 253–61.
 32. Mathieu L, Burgher F, Blomet J. Comparative valuation of the active eye and skin chemical splashes decontamination solution Diphoterine and Hexafluorine with water and other rinsing solution: Effects on burn severity and healing. *J Chem Health Saf* 2007; 14: 32–9.
 33. Hall AH, Blomet J, Gross M, Nehles J. Hexafluorine for emergent decontamination of hydrofluoric acid eye/skin splashes. *Semiconductor and Safety Association Journal* 2000; 14: 30–3.
 34. Soderberg K, Kuusinen P, Mathieu L, Hall AH. An improved method for emergent decontamination of ocular and dermal hydrofluoric acid splashes. *Vet Hum Toxicol* 2004; 46: 216–8.
 35. Mathieu L, Nehles J, Blomet J, Hall AH. Efficacy of hexafluorine for emergent decontamination of hydrofluoric acid eye and skin splashes. *Vet Hum Toxicol* 2001; 43: 263–5.
 36. Bodson L, Cavallini M, Gerard M, Maibach H, Merle H, Schrage N, idr. Chemical splashes. 2nd ed. Valmondois: Prevor; 2008.
 37. Gérard M, Louis V, Merle H, Josset P, Menerath JM, Blomet J. Experimental study about intra-ocular penetration of ammonia. *J Fr Ophtalmol* 1999; 22: 1047–53.
 38. Burgher F, Mathieu L, Fosse C, Lati E, Hall AH, Maibach H. 70 % Hydrofluoric acid (HF) cutaneous decontamination—comparison of different washing protocols with a new type of ex vivo data. *Clin Toxicol* 2009; 47: 481.
 39. Binh TL. Calcium. In: Olson KR. Poisoning and drug overdose. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2004. Str. 424–6.
 40. Howland MN. Calcium. In: Flomenbaum NE, Howland MN, Goldfrank LR, idr, ur. Goldfrank's Toxicologic Emergencies. 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2006. Str. 1424–5.
 41. Drnovšek-Olup B, Novinec E. Zdravljenje kemičnih poškodb očesa. *Zdrav Vest* 2005; 74: 583–7.