

Dinko Zavrl<sup>1</sup>

## **Poklicna izpostavljenost ionizirajočemu sevanju v interventni kardiologiji**

### ***Occupational Exposure to Ionising Radiation in Interventional Cardiology***

#### **IZVLEČEK**

KLJUČNE BESEDE: interventna kardiologija, poklicna izpostavljenost, ionizirajoče sevanje, efektivna doza, katarakta, zaščita

Pristopi in tehnologije v kardiologiji se neprestano izboljšujejo, zato postajajo interventni posegi vse številnejši in dostopnejši. Za razliko od bolnika, ki je izpostavljen primarnemu snopu rentgenskih žarkov, je največji delež ionizirajočega sevanja, ki med posegom prispeva k prejeti dozi osebja, posledica sipanja. Kljub temu da osebje opravi čedalje več posegov, je poklicna izpostavljenost ionizirajočemu sevanju v interventnih laboratorijih čedalje manjša. Učinkom ionizirajočega sevanja v interventni kardiologiji so med delom izpostavljenosti predvsem tkiva glave, vratu in okončin. Podatki kažejo, da dosedanja deterministični model nastanka radiacijske katarakte zahteva ponovni pregled, saj prag izpostavljenosti za razvoj motnjav v leči postavlja še nižje od trenutno veljavnih priporočil. Ker zakonodaja s področja jedrske varnosti poleg upoštevanja zakonsko določene zgornje meje izpostavljenosti nalaga tudi izboljšanje zaščite po načelu zmanjšanja izpostavljenosti na najnižji nivo, ki ga je moč doseči znotraj razumskih okvirjev, sta merjenje izpostavljenosti in izboljšanje zaščite pred sevanjem ključnega pomena.

#### **ABSTRACT**

KEY WORDS: interventional cardiology, occupational exposure, ionizing radiation, effective dose, cataract, protection

The approaches and technologies in cardiology are constantly improving. Interventional procedures are therefore ever increasing in number and availability. Unlike the patient, who is exposed to the primary X-ray beam, the dose to the interventional staff is mainly comprised of X-ray scatter. Despite performing an increasing number of procedures, current data show a continuing occupational exposure decrease in interventional cardiology. Body parts most exposed to ionizing radiation during work in interventional cardiology are the head, neck and limbs. Data show that the deterministic model of radiation cataract formation requires revision because it sets the threshold for the development of lens opacities even lower than current recommendations. Because the current nuclear safety regulations not only set the upper limit of exposure but also demand optimization of exposure to a level as low as reasonably possible, measurements of exposure and protection optimization are of key importance.

<sup>1</sup> Dinko Zavrl, štud. med., Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana; dinko.zavrl@gmail.com

## UVOD

Pristopi in tehnologije v interventni kardiologiji se neprestano izboljšujejo, zato postajajo posegi, s katerimi se izogibamo zapletenim, invazivnim in dragim operacijam, vse številnejši in dostopnejši. Prednosti interventne kardiologije so tako danes dobro znane, vendar prinašajo tudi specifična tveganja, katerim so izpostavljeni tako bolniki kot osebje.

Medtem ko je bolnik izpostavljen primarnemu snopu rentgenskih žarkov, ki preseva njegovo telo in služi za izdelavo posnetkov za diagnostične in terapevtske namene, je največji delež ionizirajočega sevanja, ki med posegom prispeva k prejeti dozi osebja, posledica sipanja. To nastane ob medsebojnem vplivu primarnega snopa in bolnikovega telesa, pri čemer bolnikovo telo nekaj žarkov absorbira, nekaj pa se jih razprši po prostoru. Ti žarki ne služijo več pridobivanju slike, ampak predstavljajo tveganje za osebje, ki se v danem trenutku nahaja v katetrskem laboratoriju (1, 2).

Zakonsko predpisane doze pri nas določa Direktiva Sveta 96/29/EURATOM z dne 13. maja 1996 o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo zdravja delavcev in prebivalstva pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja, s katero je usklajena tudi slovenska zakonodaja. Ta določa, da je mejna učinkovita doza za izpostavljene delavce 100 miliSievertov (mSv) v zaporednem petletnem obdobju, pod pogojem, da je največja učinkovita doza 50 mSv v kateremkoli posameznem letu. Direktiva predpisuje tudi doze za posamezne dele telesa (3):

- Mejna ekvivalentna doza, ki jo prejme očesna leča, je 150 mSv na leto.
- Mejna ekvivalentna doza, ki jo prejme koža, je 500 mSv na leto. Ta meja se nanaša na katerokoli področje površine 1 cm<sup>2</sup>, ne glede na to, kateri del telesa je izpostavljen.
- Mejna ekvivalentna doza, ki jo prejmejo roke, podlahti, noge in gležnji, je 500 mSv na leto.

Testiranja in terapevtski posegi v interventni kardiologiji predstavljajo vsaj eno tretjino celokupne doze ionizirajočega sevanja, ki ga letno v medicinske namene prejmejo pacienti. Izpostavljenost interventnih kardiologov je zato pričakovano višja, v primerjavi z radiologi celo dva- do trikrat (4).

Doza sevanja, ki jo prejmejo interventni kardiologi pri izvedbi iste vrste posega, se lahko zaradi kliničnih spremenjivk, kot so kompleksnost lezije, obseg pacientovega telesa, položaj pacienta in rentgenskega aparata, poveča za cel red velikosti (5). Nekatere nove tehnologije in zahtevnejši posegi so vezani tudi na večjo izpostavljenost. Učinkovita doza, izmerjena pri interventnih kardiologih, ki opravljajo transaortno implantacijo aortne zaklopke, je v povprečju znašala 0,04 mSv na poseg za kardiologa in 0,001 mSv za medicinsko sestro in radiološkega inženirja. Ob tem je najvišja izmerjena doza med enim posegom znašala 0,3 mSv. Primerjava podatkov z meritvami doz pri enostavnejših posegih, kot sta koronarna angiografija in perkutana koronarna intervencija, je pokazala povprečno mesečno dozo 0,17 mSv pri interventnem kardiologu in 0,02 mSv pri medicinski sestri in radiološkem inženirju (6). Podobne rezultate so pokazale tudi druge raziskave (7–9). Mandapaka je s sodelavci analiziral doze prejetega sevanja pri tistih izpostavljenih kardiologih, ki poleg kliničnega v interventnem laboratoriju opravljajo tudi pedagoško delo. Rezultati kažejo, da so doze prejetega sevanja pri tej skupini primerljive z dozami sevanja, ki jih prejmejo radiologi, ki se ukvarjajo zgolj s klinično prakso, zato bistvene dodatne izpostavljenosti na račun pedagoške dejavnosti ni pričakovati (10).

Kljub nenehnemu povečevanju obremenitev podatki kažejo, da je poklicna izpostavljenost v interventnih laboratorijih zaradi učinkovitejših zaščitnih ukrepov, sledenja izpostavljenosti in tehnološkega napredka sevalnih naprav čedalje manjša. V raziskavi,

ki je po 15 letih sledenja primerjala doze izpostavljenosti, so izmerili, da so v letu 2006 interventni kardiologi prejeli le 14 % efektivne doze, ki bi jo prejeli v letih 1989–1992, saj je ta z 10,2 mSv/leto padla na 1,2 mSv/leto. Doza, izmerjena nad zaščitno obleko, pa je bila kar 14-krat manjša (11).

## **POSLEDICE POKLICNE IZPOSTAVLJENOSTI V INTERVENTNI KARDIOLOGIJI**

Zaradi radiosenzitivnosti določenih tkiv za ionizirajoče sevanje, njihove lokacije na telesu, kjer jih je med opravljanjem posegov težko zadostno ščititi, ali pa neprimerne oziroma nezadostne rabe zaščitne opreme so učinkom ionizirajočega sevanja izpostavljena predvsem tkiva glave, vratu in okončin. Podatki o posledicah izpostavljenosti drugih delov telesa so skopi.

Z analizo kromosomskih aberacij (KA) somatske DNA lahko ocenimo biološke posledice kronične izpostavljenosti ionizirajočemu sevanju. Študija primerov s kontrolami, kjer so analizirali incidenco KA pri izpostavljenih kardiologih in tehnikih, je pokazala višji delež vseh KA in značilno višji delež kromosomskih lomov in acentričnih fragmentov pri kardiologih in tehnikih (mediana pri kardiologih  $3,27 \pm 3,03$  in pri tehnikih  $5,50 \pm 3,80$ ) v primerjavi s kontrolami (mediana  $1,14 \pm 0,50$ ,  $p < 0,001$ ) (12). Podobna raziskava primerov s kontrolami, kjer so primerjali število mikronukleusov (MN), ki večinoma nastanejo zaradi kromosomskih lomov ali napake pri vključitvi kromosoma v delitveno vreteno, je ugotovila značilno višje število MN na 1000 celic pri izpostavljenih ( $20,5 \pm 1,6$ ) kot pri neizpostavljenih ( $12,8 \pm 1,3$ ,  $p = 0,001$ ). Korelacija med leti poklicne izpostavljenosti in frekvenco MN je bila značilna za izpostavljenost ( $r = 0,428$ ,  $p = 0,02$ ), za neizpostavljenost pa ne ( $r = 0,253$ ,  $p = 0,17$ ) (13).

Podatki torej kažejo, da lahko delo v katehtrskih laboratorijih kljub izpostavljenosti dozam sevanja, ki so znotraj trenutnih pri-

poročil, vodi do višjega števila KA, kot je značilno za zdravo populacijo (12, 13). Rezultati kohortnih raziskav so pokazali značilno višji delež vseh malignih bolezni pri osebah z višjo frekvenco KA (14–16). To kaže, kako pomembno je izvajanje tako citogenetske kot tudi fizikalne dozimetrije pri ugotavljanju dejanske izpostavljenosti osebja katetrskega laboratorija. Glavna omejitev takšnih raziskav je otežen nadzor begajočih spremenljivk, kot so drugi mutageni dejavniki (starost, kajenje, itd.) (17, 18).

Kohortna raziskava kanadskih zdravstvenih delavcev, izpostavljenih nizkim dozam ionizirajočega sevanja iz različnih virov, je pokazala nižjo smrtnost zaradi raka in ne-rakavih bolezni v primerjavi s splošno kanadsko populacijo. Ob zaključku raziskave je povprečna kumulativna doza sevanja znašala 3,78 mSv. Značilno zvišana je bila zgolj incidenca raka ščitnice (standardizirana incidenčna stopnja (SIS) 1,74 (90 % interval zaupanja: 1,40–2,10)) (19). Podobna raziskava finskega registra poklicne izpostavljenosti je pokazala, da izpostavljenost nizkim dozam sevanja ni pomemben dejavnik tveganja za razvoj rakavih bolezni. Incidenca raka je bila primerljiva med izpostavljenimi zdravniki (SIS 1,0 (95 % interval zaupanja: 0,7–1,4)), neizpostavljenimi zdravniki (SIS 1,0 (95 % interval zaupanja: 1,0–1,1)) ter splošno populacijo. Povprečna kumulativna doza je znašala 12,7 mSv (20).

Poleg rakavih bolezni je izpostavljenost ionizirajočemu sevanju znan dejavnik tveganja za razvoj bolezni srca in ožilja, vendar rezultati raziskav, ki obravnavajo osebe, izpostavljene nizkim dozam, niso enotni (21). Mednarodna raziskava, v kateri je sodelovalo 15 držav, ni ugotovila povezave med izpostavljenostjo nizkim dozam sevanja in umrljivostjo zaradi bolezni srca in ožilja (relativno tveganje  $0,09/\text{Sv}$  (95 % interval zaupanja:  $-0,43$ – $0,7$ )). Učinek zdravega delavca (angl. *healthy worker effect*, HVE), ki se značilno pojavlja v poklicih, kjer so delavci pod strogim zdravstvenim nadzorom, je bil iz

študije izključen (22). Metaanaliza, ki je vključevala delavce, ki so bili s celim telesom izpostavljeni kumulativni dozi  $< 0,5 \text{ Sv}$  ali dnevni dozi  $< 10 \text{ mSv}$ , pa je ugotovila relativno tveganje za razvoj vseh bolezni srca in ožilja, ki je v Franciji znašalo  $2,5\%/\text{Sv}$  (95 % interval zaupanja: 0,8–4,2), v Rusiji pa  $8,5\%/\text{Sv}$  (95 % interval zaupanja: 4,0–13). Ti podatki bi lahko pomenili, da je smrtnost, povezana z izpostavljenostjo ionizirajočemu sevanju, bistveno višja od trenutnih podatkov, saj ocene temeljijo predvsem na posledicah rakavih bolezni (23).

### Radiacijska katarakta in zamotnitve leče

Povezava med katarakto in izpostavljenostjo ionizirajočemu sevanju je znana že dolgo (24, 25). Glede na anatomsko lego motnjav jo razvrščamo v štiri glavne oblike in sicer nuklearno, kortikalno, posteriorno subkapsularno in mešano. Posteriorna subkapsularna katarakta je med starostnimi spremembami leče najredkejša, a hkrati najpogosteje opisana v povezavi z izpostavljenostjo ionizirajočemu sevanju (26). Po izpostavitvi ionizirajočemu sevanju se v posteriornem subkapsularnem predelu leče sprva pojavijo točkaste in vakuolizirane spremembe, ki se sčasoma združijo v večje motnjave (27). Ta oblika je zaradi lege v optični osi najbolj neugodna, saj lahko že manjše motnjave znatno vplivajo na ostrino vida (28).

Prvi je pojav radiacijske katarakte in zamotnitev leče v prej slabo raziskani, a izpostavljeni populaciji interventnih kardiologov, leta 2004 opisal Junk s sodelavci. Raziskava je sicer imela določene pomembne metodološke omejitve, a je ugotovila prisotnost sprememb leče, ki bi lahko bile povezane z izpostavljenostjo rentgenskim žarkom v 37,3 % primerov in razvito katarakto v 8 % primerov (29). Raziskava prime-

rov s kontrolami, ki jo je opravil Vano s sodelavci, je ugotovila podobno. Relativno tveganje za razvoj subkapsularnih motnjav pri interventnih kardiologih je bilo 3,2 (38 % pri izpostavljenih proti 12 % pri neizpostavljenih,  $p < 0,005$ ) (30). Podobna raziskava je pri povprečni dozi 3,4 Gray (Gy) in srednji dozi 1,0 Gy odkrila posteriorne subkapsularne spremembe pri 52 % (95 % interval zaupanja: 35–73) izpostavljenih interventnih kardiologov in 45 % (95 % interval zaupanja: 15–100) izpostavljenih medicinskih sester. Relativno tveganje za razvoj sprememb je bilo pri interventnih kardiologih 5,7 (95 % interval zaupanja: 1,5–22), pri medicinskih sestrah pa 5,0 (95 % interval zaupanja: 1,2–21) (31). Leta 2011 je ICRP (angl. *International Commission on Radiological Protection*) na podlagi novih podatkov zgornjo mejo izpostavljenosti leče znižal s 5 Gy, prejetih v večkratnih dozah, oziroma 2 Gy, prejeta v enkratni dozi, na 0,5 Gy (32)<sup>a</sup>.

Pri relativno visoki izpostavitvi ( $> 1 \text{ Gy}$ ) se motnjave v leči lahko pojavijo že po nekaj letih, medtem ko se lahko za vid omejujoča katarakta pojavi tudi po več desetletjih (25, 33). Trajanje latentne dobe je obratno sorazmerno s prejeto dozo (27).

Novi podatki kažejo, da dosednji deterministični model nastanka radiacijske katarakte zahteva ponovni pregled, saj prag izpostavljenosti za razvoj motnjav v leči postavlja še nižje od trenutno veljavnih priporočil ali pa spodnje meje za razvoj motnjav leče poskusno sploh ni bilo možno ugotoviti (34, 35). Ker kljub dolgoletnim izkušnjam moderne medicine z radiacijsko katarakto vprašanje praga izpostavljenosti ostaja odprto, bo v prihodnje za natančnejšo opredelitev povezave med izpostavljenostjo in klinično sliko potrebno opraviti dodatne epidemiološke raziskave in raziskave na živalskih modelih (36, 37). Problem

<sup>a</sup> Doze in mejne vrednosti so zapisane v enoti Gy (absorbirana doza), saj veljajo za vse vrste ionizirajočih sevanj in za razliko od ekvivalentnih doz (Sv), ki smo jih omenjali do sedaj, ne upoštevajo specifičnega korekcijskega faktorja za rentgenske žarke.

predstavlja tudi dejstvo, da dozimetri, ki bi lahko rutinsko merili izpostavljenost leče, še niso dostopni. Tako se pri meritvah zanašamo na ocene KAP (angl. *kerma area product*), ki pa niso zanesljive, saj gre za izračune na podlagi položaja izpostavljene telesne površine v prostoru, ta pa se v dinamičnem okolju kateterskega laboratorija hitro spreminja.

### **Radiacijske poškodbe okončin**

Zgornje okončine so edini del telesa, ki lahko v normalnih okoliščinah dela v katetskem laboratoriju zaidejo v primarni snop rentgenskih žarkov. V literaturi je opisanih primerov radiacijskega dermatitisa pri operaterjih v primerjavi z bolniki malo, saj operaterjeve roke med posegom v primarni snop zaidejo zgolj slučajno, enkratna doza, potrebna za razvoj simptomatike, pa naj bi znašala > 2 Gy (1, 38, 39). Ravno zaradi te dinamike so meritve izpostavljenosti precej nekonsistentne. Efsthathopolous in sodelavci so tako na zapestju leve roke izmerili povprečno dozo 485  $\mu$ Sv, medtem ko je maksimalna doza znašala 5.239  $\mu$ Sv (40). Zapestje je bilo hkrati tudi najbolj izpostavljen del telesa. Whitby in Martin pa sta ugotovila, da so med izvajanjem interventnih posegov najbolj izpostavljene konice sredinca in prstanca roke (41).

### **Posledice izpostavljenosti glave in vratu**

Tveganje za razvoj tumorjev osrednjega živčnega sistema (OŽS) kot posledica dolgotrajne izpostavljenosti nizkim dozam sevanja je slabo poznano. Večina podatkov izhaja iz študij preživelih po padcu atomskih bomb (42, 43). V kohorti izpostavljenih je relativno tveganje za razvoj tumorjev OŽS znašalo 1,2 na prejeti Sv (95% interval zaupanja: 1,9–9,2). Najvišje relativno tveganje je bilo za švanom 4,5 (95% interval zaupanja: 1,9–9,2), za vse ostale tumorje OŽS pa 0,6 (95% interval zaupanja: 0,1–1,3). Posamezne vrste tumorjev iz slednje skupine niso imele statistično značilne povezave med dozo in učinkom (43, 44).

Študija skupine primerov 31 zdravnikov, od tega 23 interventnih kardiologov, dveh elektrofiziologov in šest interventnih radiologov, je pokazala, da se je 85% tumorjev z znano lokalizacijo pojavilo na levi strani glave. To bi lahko v povezavi z dejstvi, da je razporeditev tumorjev v splošni populaciji med levo in desno stranjo glave enaka in da je leva stran operaterjeve glave med izvajanjem interventnih posegov dokazano bolj izpostavljena kot desna, govorilo v prid možni povezavi med razvojem tumorjev glave in vratu ter poklicno izpostavljenostjo v interventni medicini (45, 46).

Podatkov, ki bi specifično opredelili boleznisčitnice kot posledico poklicne izpostavljenosti v interventni kardiologiji, je malo, zato se lahko na tem področju opiramo le na podatke iz radiologije, onkološke radioterapije in jedrskih nesreč. Čeprav so odrasli manj občutljivi na učinke zunanega obsevanja ščitnice kot otroci, raziskave potrjujejo, da je poklicna izpostavljenost ionizirajočemu sevanju dejavnik tveganja za razvoj karcinoma ščitnice (47, 48). Pri analizi posledic izpostavljenosti likvidatorjev zunanjemu sevanju v črnobilski jedrski nesreči je bila ugotovljena statistično značilna povezava med dozo in učinkom. Relativno tveganje, ugotovljeno za dozo 100 mGy, je znašalo 0,38 (95% interval zaupanja: 0,10–1,09) (49). Zaradi stohastične narave razvoja ščitničnega karcinoma so specifični dejavniki, ki poleg starosti ob izpostavitvi vplivajo na razmerje med dozo in učinkom, slabo poznani (50).

Adibi s sodelavci ni odkril statistično značilne povezave med poklicno izpostavljenostjo sevanju v medicini in tveganjem za razvoj ščitničnih vozličev (51).

Povezava med avtoimunskim tiroiditisom in izpostavljenostjo ionizirajočemu sevanju je znana že dolgo (52). Völzke s sodelavci je prvi potrdil povezavo med poklicno izpostavljenostjo ionizirajočemu sevanju in razvojem avtoimunskega tiroiditisa pri ženskah. Izpostavljene ženske so razvile

avtoimunski tiroiditis v 10 %, neizpostavljene pa v 3,4 % ( $p < 0,05$ ). Po prilagoditvi begavih spremenljivk je bilo razmerje obetov 3,46 (95 % interval zaupanja: 1,16–10,31,  $p < 0,05$ ). Pri moških udeležencih rezultati niso pokazali statistično pomembnih razlik. Tveganje je bilo najbolj izraženo pri osebah, ki so bile izpostavljene ionizirajočemu sevanju več kot pet let (53).

Hipotiroidizem je redko neposredna posledica poklicne izpostavljenosti ionizirajočemu sevanju, saj je za razvoj klinično nemega ali subkliničnega pomanjkanja ščitničnih hormonov potrebna doza, ki presega 26 Gy (54).

## **PRINCIPI OMEJEVANJA IZPOSTAVLJENOSTI V PRAKSI**

Glede na to, da sta izpostavljenost bolnika in operaterja medsebojno povezani, je uporaba tehničnih prijemov in nastavitev sevalne naprave z namenom zaščite bolnika enako koristna tudi za zmanjševanje poklicne izpostavljenosti interventnega osebja (1, 5, 55). V nadaljevanju so predstavljeni osnovni načini zaščite interventnega osebja pred poklicno izpostavljenostjo.

### **Merjenje izpostavljenosti in ovrednotenje podatkov osebne dozimetrije**

Zakonodaja s področja jedrske varnosti poleg upoštevanja zakonsko določene zgornje meje izpostavljenosti nalaga tudi optimizacijo zaščite po načelu zmanjšanja izpostavljenosti na najnižji nivo, ki ga je moč doseči znotraj razumskih okvirjev. Merjenje in optimizacija izpostavljenosti sta zato ključnega pomena tudi v primeru, ko so pričakovane doze sevanja v mejah predpisanih (5, 11). Smernice priporočajo rabo dveh osebnih dozimetrom. Prvi naj se nahaja pod zaščitno obleko, na prsih, drugi pa v višini ovratnika, nad zaščitno obleko. Tako naj bi za praktične potrebe najlažje ocenili efektivno prejeto dozo in dozo, ki jo prejmeta nezaščitena koža in očesna leča. Posebno

pozornost je potrebno posvetiti temu, da se dozimetra med sabo po pomoti ne zamenjata in da njuna uporaba sledi navodilom proizvajalca (1, 5).

Osebe, ki so poklicno izpostavljene, naj bodo o prejetih dozah sevanja obveščene, četudi glede na prejete doze v interventni kardiologiji to zakonsko ni obvezno (skupina B,  $< 6$  mSv) (3). Obveščenosť o prejetih dozah deluje kot osebna motivacija za še dodatno znižanje izpostavljenosti. Poleg visokih doz naj se analizirajo tudi nenavadno nizke doze, saj so slednje lahko pokazatelj, da posameznik svoj osebni dozimeter uporablja nepravilno oziroma ga sploh ne uporablja (5).

### **Zaščitna oprema**

#### **Zaščitna obleka**

Na trgu je moč zaslediti zaščitne obleke različnih krojev in debelin (0,25–1 milimetra svinčevega (mmPb) ekvivalenta) (56). Ne glede na to, da je prepustnost obleke za rentgenske žarke odvisna od njene debeline, načelo več je bolje ne drži vedno. Ker se za izdelavo zaščitne obleke uporabljajo goste tkanine, ki so težke, lahko operaterja med posegom fizično ovirajo ali pa telesno prekomerno obremenjujejo. To podaljša čas izpostavljenosti in zviša dozo, ki jo prejmejo nezaščitene ali slabše zaščitene površine operaterjevega telesa in ostale izpostavljene osebe, ki se med posegom nahajajo v laboratoriju. Raziskave so dokazale, da je nošenje težke zaščitne opreme med interventnimi posegi povezano z višjo incidenco ortopedskih težav (58). Pri izbiri zaščitnih oblačil je tako potrebno upoštevati ergonomska pravila. Priporočena je uporaba oblek debeline 0,25–0,5 mmPb ekvivalenta, ki naj ima več točk namestitve, tako da ne obremenjuje zgolj operaterjevih ramen (1, 5, 56).

Čeprav je uporaba zaščitnega ovratnika za ščitnico in vrat indicirana pri uporabnikih, ki mesečno prejmejo dozo, višjo od 4 mSv, je uporaba smiselna in priporočljiva že pri nižjih dozah izpostavljenosti (56).

Uporaba sterilnih zaščitnih rokavic s primesjo svinca se ni izkazala za učinkovito, saj pride ob izpostavitvi primarnemu snopu do sipanja žarkov znotraj rokavice in samodejne ojačitve snopa zaradi vstopa telesa z visoko atenuacijsko vrednostjo v sevalno polje. Najboljša zaščita je tako izogibanje poseganju v primarni snop (5, 56).

Vsa zaščitna oblačila je potrebno redno pregledovati in testirati. Zaščitna oblačila imajo predviden rok uporabe, po katerem jih je potrebno zavreči. Uporabljene tkanine namreč nimajo enake obstojnosti kot navadna oblačila, zato je potrebno tudi previdno odlaganje in shranjevanje (1, 5, 56).

### Zaščitna očala in maske

Na voljo je več vrst zaščitnih očal in mask, proizvedenih iz svinčenega stekla in akrila. Razlika med materialoma je predvsem v teži, svinčeno steklo je občutno težje od akrilnega, vendar pri višjih Pb ekvivalentih ostaja prosojnejše od svinčenega. Obe vrsti materiala sta enakovredni, zato naj se vsak operater glede izbire odloči sam na podlagi tega, katera očala se mu bolj prilagajo in ga manj ovirajo pri delu. Pomembno je slediti priporočilom glede atenuacijskih vrednosti, ki naj ne bi bile nižje od 0,75 mm-Pb ekvivalenta. Prav tako naj imajo očala zadostno obstransko zaščito pred sipanjem žarkov s strani (1, 5, 56).

### Drugi tipi zaščite pred sevanjem

Operaterjeve noge v običajnih pogojih dela v katetrskem laboratoriju stojijo v neposredni bližini vira sevanja, ki se nahaja pod operacijsko mizo, zato je priporočljiva uporaba svinčene zavese, ki je nameščena na robu mize in ščiti operaterja od pasu navzdol (1, 6, 56, 58). To zaščito je možno nadgraditi s ščitnikom v obliki črke L, kjer daljšo stranico nizkih atenuacijskih vrednosti name-

stimo na mizo in nanjo poležemo bolnika, krajša stranica pa stoji pravokotno na rob mize in operaterja ščiti pred sipanjem žarkov iz bolnika ter služi kot opora za bolnikovo roko (2, 58).

Za zaščito celotnega telesa, tako operaterja kot drugega osebja interventnega laboratorija, je priporočljiva uporaba večjih, premakljivih plošč zaščitnega akrilnega stekla 1–1,5 mmPb ekvivalenta. Ti naj se za čim večjo učinkovitost namestijo čim bližje bolniku (1, 5, 8, 56).

Znatno znižanje doze prejetega sevanja, ki nastane zaradi sipanja žarkov v bolnikovem telesu, je moč doseči s prekrivanjem bolnika z zaščitno odejo. Te so proizvedene iz različnih materialov in so na voljo sterilne in nesterilne, za enkratno in večkratno uporabo (1, 3, 57, 59, 60).

## ZAKLJUČKI

S prihodom novih tehnologij in večjo dostopnostjo interventnih posegov lahko v prihodnosti pričakujemo povečanje števila opravljenih posegov. Čeprav se izpostavljenost osebja v interventnih laboratorijih zmanjšuje, bi povečanje obremenitev katetrskih laboratorijev lahko vplivalo na ponovno povečanje izpostavljenosti. Kljub temu še vedno ne razpolagamo z vsemi potrebnimi podatki glede izpostavljenosti ionizirajočemu sevanju in njenih posledic. Z ustreznim znanjem in zaščito pred sevanjem je možno izpostavljenost ionizirajočemu sevanju znatno zmanjšati.

Po drugi strani pa z razvojem tehnologij pričakujemo tudi prihod zanesljivejše računalniško-tomografske angiografije, ki bo do neke mere prevzela breme diagnostike in zmanjšala število interventnih posegov s tem pa tudi izpostavljenosti osebja katetrskih laboratorijev.

## LITERATURA

1. JCS Joint Working Group. Guideline for radiation safety in interventional cardiology (JCS 2011) – digest version. *Circ J*. 2013; 77 (2): 519.
2. Fetterly KA, Magnuson DJ, Tannahill GM, et al. Effective use of radiation shields to minimize operator dose during invasive cardiology procedures. *JACC Cardiovasc Interv*. 2011; 4 (10): 1133–9.
3. Direktiva Sveta 96/29/EURATOM z dne 13. maja 1996 o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo zdravja delavcev in prebivalstva pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja [internet]. 1996 [citirano 2014 May 10]. Dosegljivo na: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0029:SL:HTML>
4. Cardella J, Faulkner K, Hopewell J, et al. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures extracted from International Commission on Radiation Protection. ICRP Publication 85. 2000; 30 (2).
5. Durán A, Hian SK, Miller DL, et al. Recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013; 82 (1): 29–42.
6. Signorotto P, del Vecchio A, Montorfano M, et al. Dosimetric data and radiation risk analysis for new procedures in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2010; 142 (2–4): 201–8.
7. Zorzetto M, Bernardi G, Morocutti G, et al. Radiation exposure to patients and operators during diagnostic catheterization and coronary angioplasty. *Cathet Cardiovasc Diagn*. 1997; 40 (4): 348–51.
8. Vano E, González L, Guibelalde E, et al. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. *Br J Radiol*. 1998; 71 (849): 954–60.
9. Delichas M, Psarrakos K, Molyvda-Athanassopoulou E, et al. Radiation exposure to cardiologists performing interventional cardiology procedures. *Eur J Radiol*. 2003; 48 (3): 268–73.
10. Mandapaka S, ed. Excessive radiation exposure: Is it a limiting factor in academic interventional cardiology program? Catheterisation and cardiovascular interventions. 33rd Annual Scientific Sessions of the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions (SCAI); 2010 May 01; San Diego, CA (USA); c2010.
11. Vaño E, Gonzalez L, Fernandez JM, et al. Occupational radiation doses in interventional cardiology: a 15-year follow-up. *Br J Radiol*. 2006; 79 (941): 383–8.
12. Zakeri F, Assaei RG. Cytogenetic monitoring of personnel working in angiocardiology laboratories in Iran hospitals. *Mutat Res*. 2004; 562 (1): 1–9.
13. Andreassi MG, Cioppa A, Botto N, et al. Somatic DNA damage in interventional cardiologists: a case-control study. *FASEB J*. 2005; 19 (8): 998–9.
14. Smerhovský Z, Landa K, Rossner P, et al. Risk of cancer in an occupationally exposed cohort with increased level of chromosomal aberrations. *Environ Health Perspect*. 2001; 109 (1): 41–5.
15. Hagmar L, Bonassi S, Stromberg U, et al. Chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer: a report from the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health (ESCH). *Cancer Res*. 1998; 58: 4117–21.
16. Bonassi S, Znaor A, Norppa H, et al. Chromosomal aberrations and risk of cancer in humans: an epidemiologic perspective. *Cytogenet Genome Res*. 2004; 104: 376–82.
17. Andreassi MG, Sagliano I, Cioppa A, et al. Chronic low-dose radiation exposure from interventional cardiology procedures induces chromosomal abnormalities in originally genetically identical twins. *Int J Cardiol*. 2007; 118 (1): 130–1.
18. Andreassi MG. The biological effects of diagnostic cardiac imaging on chronically exposed physicians: the importance of being non-ionizing. *Cardiovasc Ultrasound*. 2004; 2: 25.
19. Zielinski J, Garner MJ, Band PR, et al. Health outcomes of low-dose ionizing radiation exposure among medical workers: a cohort study of the Canadian national dose registry of radiation workers. *Int J Occup Med Environ Health*. 2009; 22 (2): 149–6.
20. Jartti P, Pukkala E, Uitti J, et al. Cancer incidence among physicians occupationally exposed to ionizing radiation in Finland. *Scand J Work Environ Health*. 2006; 32 (5): 368–73.
21. Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, et al. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950–1997. *Radiat Res*. 2003; 160 (4): 381–407.
22. Vrijheid M, Cardis E, Ashmore P, et al. Mortality from diseases other than cancer following low doses of ionizing radiation: results from the 15-Country Study of nuclear industry workers. *Int J Epidemiol*. 2007; 36 (5): 1126–35.
23. Little MP, Azizova TV, Bazylka D, et al. Systematic review and meta-analysis of circulatory disease from exposure to low-level ionizing radiation and estimates of potential population mortality risks. *Environ Health Perspect*. 2012; 120 (1): 1503–11.



24. Otake M, Schull WJ. Radiation-related posterior lenticular opacities in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors based on the DS86 dosimetry system. *Radiat Res.* 1990; 121 (1): 3–13.
25. Neriishi K, Nakashima E, Minamoto A, et al. Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold. *Radiat Res.* 2007; 168 (4): 404–8.
26. Kleinman NJ, Worgul BV. Lens. In: Tasman W, Jaeger EA, eds. *Duane's clinical ophthalmology*. Philadelphia: Lippincott & Co.; 1994. p. 1–39.
27. Merriam J, Worgul BV. Experimental radiation cataract – its clinical relevance. *Bull NY Acad Med.* 1983; 59 (4): 372.
28. Brown NP. The lens is more sensitive to radiation than we had believed. *Br J Ophthalmol.* 1997; 81 (4): 257.
29. Junk AK, et al. Cataract in interventional radiology—an occupational hazard? *Invest Ophthal Vis Sci.* 2004; 45 (5): 388.
30. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, et al. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res.* 2010; 174 (4): 490–5.
31. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, et al. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: Is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv.* 2010; 76 (6): 826–34.
32. International Commission on Radiological Protection. Statement on Tissue Reactions. [internet]. 2011. ICRP ref 4825-3093-1464 [citirano 2014 May 10]. Dosegljivo na: <http://www.icrp.org/docs/icrp%20statement%20on%20tissue%20reactions.pdf>
33. Hall P, Granath F, Lundell M, et al. Lenticular opacities in individuals exposed to ionizing radiation in infancy. *Radiat Res.* 1999; 152 (2): 190–5.
34. Nakashima E, Neriishi K, Minamoto A. A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000–2002: a threshold analysis. *Health Phys.* 2006; 90 (2): 154–60.
35. Worgul BV, Kundiyeu YI, Sergiyenko NM, et al. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res.* 2007; 167: 233–43.
36. Hammer GP, Scheidemann-Wesp U, Samkange-Zeeb F, et al. Occupational exposure to low doses of ionizing radiation and cataract development: a systematic literature review and perspectives on future studies. *Radiat Environ Biophys.* 2013; 52 (3): 303–19.
37. Kleiman N. Euratom, radiation cataract, new insights in radiation risk and basic safety standards. *Radiation Protection.* 2007; 145: 81–95.
38. Stavas JM, Smith TP, DeLong DM, et al. Radiation hand exposure during restoration of flow to the thrombosed dialysis access graft. *J Vasc Interv Radiol.* 2006; 17 (10): 1611–7.
39. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat Res.* 2007; 168 (1): 1–64.
40. Yonehara S, Brenner AV, Kishikawa M, et al. Clinical and epidemiologic characteristics of first primary tumors of the central nervous system and related organs among atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki, 1958–1995. *Cancer.* 2004; 101 (7): 1644–54.
41. Preston DL, Ron E, Yonehara S, et al. Tumors of the nervous system and pituitary gland associated with atomic bomb radiation exposure. *J Natl Cancer Inst.* 2002; 94 (20): 1555–63.
42. Roguin A, Goldstein J, Bar O, et al. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. *Am J Cardiol.* 2013; 111 (9): 1368–72.
43. Roguin A, Goldstein J, Bar O. Brain tumours among interventional cardiologists: a cause for alarm? Report of four new cases from two cities and a review of the literature. *EuroIntervention.* 2012; 7 (9): 1081–6.
44. Balter S. *Interventional fluoroscopy: physics, technology, safety*. New York: Wiley-Liss; 2001.
45. Efstathopoulos EP, Pantos I, Andreou M, et al. Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures. *Br J Radiol.* 2011; 84 (997): 70–7.
46. Whitby M, Martin CJ. A study of the distribution of dose across the hands of interventional radiologists and cardiologists. *Br J Radiol.* 2005; 78 (927): 219–29.
47. Kendall GM, Muirhead CR, MacGibbon BH, et al. Mortality and occupational exposure to radiation: first analysis of the National Registry for Radiation Workers. *BMJ.* 1992; 304 (6821): 220.
48. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations. Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations; 1994.
49. Kesminiene A, Evrard AS, Ivanov VK, et al. Risk of thyroid cancer among chernobyl liquidators. *Radiat Res.* 2012; 178 (5): 425–36.
50. Schneider AB, Ron E, Lubin J, et al. Dose-response relationships for radiation-induced thyroid cancer and thyroid nodules: evidence for the prolonged effects of radiation on the thyroid. *J Clin Endocrinol Metab.* 1993; 77 (2): 362–9.

51. Adibi A, Rezazade A, Hovsepian S, et al. The relationship between occupational radiation exposure and thyroid nodules. *J Res Med Sci.* 2012; 17 (5): 434–8.
52. Godal T, Berdal P. On the appearance of thyroglobulin auto-antibodies after exposure of normal human thyroids to surgery and ionising radiation. *APMIS.* 1967; 69 (1): 63–70.
53. Völzke H, Werner A, Wallaschofski H, et al. Occupational exposure to ionizing radiation is associated with autoimmune thyroid disease. *J Clin Endocrinol Metab.* 2005; 90 (8): 4587–92.
54. Hancock SL, McDougall IR, Constine LS. Thyroid abnormalities after therapeutic external radiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1995; 31 (5): 1165–70.
55. Vano E, Ubeda C, Leyton F, et al. Staff radiation doses in interventional cardiology: correlation with patient exposure. *Pediatr Cardiol.* 2009; 30 (4): 409–13.
56. Schueler BA. Operator shielding: how and why. *Tech Vasc Interv Radiol.* 2010; 13 (3): 167–71.
57. Klein LW, Miller DL, Balter S, et al. Occupational health hazards in the interventional laboratory: time for a safer environment. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2009; 73 (3): 432–8.
58. Buchholz S, Mughal N, Nojournian A, et al. Is a left shoulder guard biologically more useful than a left shin guard for radiation protection in interventional cardiology? *Heart Lung Circ.* 2011; 20: 130–1.
59. Dromi S, Wood BJ, Oberoi J, et al. Heavy metal pad shielding during fluoroscopic interventions. *J Vasc Interv Radiol.* 2006; 17 (7): 1201–6.
60. King JN, Champlin AM, Kelsey CA, et al. Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *AJR Am J Roentgenol.* 2002; 178 (1): 153–7.

Prispelo 26. 1. 2015