

Slikovne dijagnostičke metode – zaštita od zračenja i racionalna upotreba u dječjoj dobi

Goran Roić¹, Andrea Cvitković Roić², Zoran Klanfar³, Mislav Bastić⁴, Vladimir Kalousek³

¹Zavod za dječju radiologiju
Klinika za dječje bolesti Zagreb,
Klaićeva 16, 10 000 Zagreb

²Poliklinika za dječje bolesti Helena
Svetice 36, 10 000 Zagreb

³Klinički zavod za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju
KBC Sestre milosrdnice
Vinogradska 29, 10 000 Zagreb

⁴Klinika za dječju kirurgiju, Zagreb
Klinika za dječje bolesti Zagreb,
Klaićeva 16, 10 000 Zagreb

Korespondencija:
Prof. dr. sc. Goran Roić
Klinika za dječje bolesti Zagreb
Klaićeva 16, 10000 Zagreb
goran.roic@kbcsm.hr

Pregledni članak
UDK 616-053.2:614.73
Prispjelo: 22. rujna 2011.

Dijagnostičke slikovne, *imaging* metode pri kojima se koristi ionizirajuće zračenje (u daljnjem tekstu zračenje) uključuju konvencionalne radiološke metode, kompjutoriziranu tomografiju (CT), te radionuklidne studije u okviru nuklearne medicine. Djeca su osjetljivija na zračenje u odnosu na odrasle, te je s obzirom na dulje očekivano trajanje života dulje i vremensko razdoblje u kojemu se negativni učinci zračenja mogu potencijalno ispoljiti. Stoga je od izuzetne važnosti dozu zračenja za dijete smanjiti na najmanju moguću mjeru. „Image Gently“ kampanja je inicijativa Alijanse za sigurnu primjenu zračenja pri dijagnostičkome oslikavanju u dječjoj dobi (*The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging*). Cilj te kampanje jest promijeniti dosadašnju praksu povećavajući svjesnost o potrebi i mogućim načinima prilagodbe dijagnostičkih slikovnih metoda dječjoj dobi. U ovome se članku analiziraju dijagnostičke slikovne metode koje se koriste u dječjoj dobi s aspekta sigurne primjene, odnosno zaštite od zračenja, s naglaskom na potrebi prilagodbe protokola snimanja te načina i uvjeta primjene u rutinskoj kliničkoj praksi.

Ključne riječi: slikovne dijagnostičke metode, Radiološka zaštita; Djeca; Ionizirajuće zračenje

UVOD

Kad se govori o opasnostima od zračenja uglavnom se misli na ionizirajuće zračenje. To je zračenje koje ima dovoljnu energiju da u sredstvu kroz koje prolazi stvara parove iona, to jest atome ili skupine atoma s manjkom elektrona i pripadajućom oslobođenom energijom kojom se mogu vezati na druge atome. Tako nastali ioni narušavaju biokemijske procese u stanicama što može dovesti do raznih poremećaja u njihovom funkcioniranju i dijeljenju, te konačno do nastanka ozbiljnih bolesti, poput karcinoma (1).

S obzirom na to da je očekivano trajanje života djece dulje, u usporedbi s odraslom dobi, veća je i vjerojatnost da će se mogući negativni učinci zračenja tijekom života potencijalno ispoljiti. Djeca su biološki osjetljivija na ionizirajuće zračenje, te je zaštita od zračenja pri izvođenju slikovnih dijagnostičkih metoda u dječjoj dobi od osobitoga značaja (2). Uz procjenu opravdanosti primjene svake slikovne dijagnostičke metode koja koristi zračenje, od izuzetnoga je značaja optimizirati dijagnostičku metodu kako bi se doza zračenja reducirala na najmanju moguću mjeru.

DIJAGNOSTIČKA PRIMJENA IONIZIRAJUĆE- GA ZRAČENJA

Ionizirajuće zračenje koristi se pri dijagnostičkim (radiološkim) slikovnim metodama, kao i kod radioterapije, za liječenje malignih tumora. Dijagnostičke slikovne metode koje koriste zračenje uključuju konvencionalne radiološke metode, kompjuteriziranu tomografiju (CT), te primjenu radionuklida (2). Zračenje, odnosno radioterapija, koristi se za zračenje malignih tumora, kao i pri liječenju prekomjerne aktivnosti štitnjače (1). Kao i kod bilo kojeg drugoga medicinskog postupka ili zahvata, potencijalna korist, odnosno dobrobit koju pruža primjena slikovne dijagnostičke metode mora uvijek biti višestruko veća od potencijalnoga rizika koji proizlazi iz njezine uporabe. Radiološka dijagnostika pomaže nam pri donošenju dijagnoze, određivanju najboljega načina liječenja, praćenju učinaka terapije te dijagnostici mogućih komplikacija. Primjenom tih dijagnostičkih metoda izravno se skraćuje trajanje liječenja, izbjegavaju se nepotrebne dijagnostičke ili terapijske procedure, te se poboljšava ukupan ishod liječenja, odnosno kvaliteta medicinske skrbi. Slijedom navedenoga, dijagnostičke slikovne metode koje koriste zračenje vrlo su vrijedne i nezamjenjive dijagnostičke metode koje izravno utječu na rezultat i prognozu liječenja. Unatoč potencijalnim štetnim negativnim učincima, na današnjem stupnju razvoja medicine, odnosno medicinske tehnologije, ne postoje dijagnostičke metode koje bi kvalitetno nadomjestile radiološke metode, te su danas moderna dječja kao i medicina odraslih nezamislive bez upotrebe tih tehnika (1,2).

DJELOVANJE IONIZIRAJUĆEGA ZRAČENJA

Ionizirajuće zračenje jest pojava prijenosa energije u obliku fotona (*kvanti elektromagnetskoga zračenja*) ili čestica, a koje ima dovoljno energije da u međudjelovanju s kemijskom tvari ionizira tu tvar (3). U biološkome materijalu izloženom rendgenskim zrakama, najčešći je scenarij stvaranje hidroksilnih radikala koji nastaju kao rezultat interakcije rendgenskih zraka s molekulama vode, a ti radikali u interakciji s DNA molekulama uzrokuju prekide molekule DNA lanca ili oštećenje dušičnih baza (1,3). Ovaj se mehanizam oštećenja živih stanica u dijagnostičkoj i intervencijskoj radiologiji naziva neizravnim djelovanjem zračenja. Preko 95% oštećenja u dijagnostičkoj primjeni zračenja nastaje na taj način. Rendgenske zrake mogu također ionizirati DNA i izravnim srazom s molekulom DNA - izravno djelovanje zračenja (3). Većina oštećenja izazvanih zračenjem brzo se i uspješno popravljaju od strane različitih reparatornih sustava unutar stanice. Međutim, dvostruki prekid zavojnice DNA molekule i druga teža oštećenja teže se

repariraju, a povremena greška u reparaciji može dovesti do trajne mutacije, odnosno mogućnosti indukcije malignih karcinoma (2). Tijekom života izloženi smo malim dozama ionizirajućega zračenja iz tla, stijena, građevinskoga materijala, zraka, vode, te kozmičkoga zračenja. To je prirodno zračenje iz okoline kojem smo izloženi tijekom čitavog života, a doza kojoj smo izloženi ovisna je o podneblju i okruženju u kojem živimo. Kada govorimo o dozi zračenja od dijagnostičkih *imaging* metoda, mislimo na dozu zračenja koja se kumulira na dozu prirodnoga zračenja iz okoline (1,2,3).

NAČELA ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Osnovni su ciljevi zaštite od ionizirajućega zračenja: prevenirati nastanak determinističkih učinaka zračenja i ograničiti pojavu stohastičkih učinaka na najmanju moguću mjeru. Također, potrebno je osigurati da pri obavljanju djelatnosti kod kojih dolazi do izlaganja ionizirajućem zračenju to izlaganje bude opravdano, odnosno da korist od primjene zračenja uvijek bude višestruko veća od potencijalnih štetnih učinaka. S obzirom na to da se zaštita od ionizirajućega zračenja zasniva na pretpostavci linearne veze između doze i učinka, gdje ne postoji tako mala doza za koju bismo mogli tvrditi da smo apsolutno sigurni, Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja u svojim ICRP analizama iz 1991. godine (4) preporuča da se uporaba zračenja, odnosno sustav zaštite od zračenja, temelji na sljedećim načelima:

Opravdanost

Upotreba izvora ionizirajućega zračenja opravdana je ako smo sigurni da ćemo polučiti veću korist za izložene pojedince ili društvo od potencijalne štete koju izloženost zračenju može prouzročiti.

Optimalizacija

Doza koju primi pojedinac, iz bilo kojega izvora, broj izloženih osoba - odnosno vjerojatnost izlaganja ionizirajućem zračenju, mora se održavati toliko nisko koliko je razumno moguće, a u skladu s ekonomskim, društvenim i socijalnim čimbenicima koji se moraju uzeti u obzir. Za taj se princip upotrebljava skraćenica ALARA (*As Low as Reasonably Achievable*) (5).

Ograničenje doze

Prema tom načelu, ozračenje pojedinca mora biti niže od zakonom propisanih granica. Kod determinističkih učinaka, apsolutni kriterij prihvatljivosti je prag doze koja mora biti ispod praga za takve učinke. Nasuprot tome, za stohastičke učinke kod kojih ne postoji prag

doze, kriteriji prihvatljivosti zasnivaju se na usporedbi radiološkoga rizika s drugim rizicima profesionalnoga ili javnoga života.

DIJAGNOSTIČKE SLIKOVNE METODE

Sve od otkrića rendgenskih zraka 1895. godine pa do danas, konvencionalna radiografija i fluoroskopija ostale su osnovne dijagnostičke radiološke metode (2). U novije vrijeme, posebice tijekom posljednja dva desetljeća, tehnološki razvoj i veća dostupnost endoskopije i CT-a rezultirali su padom broja fluoroskopskih postupaka (6,7). Ipak, unatoč izboru dijagnostičkih slikovnih modaliteta dostupnih danas, fluoroskopija i nadalje ostaje važan i relativno često korišten dijagnostički postupak u pedijatrijskih pacijenta. Najčešće se koristi pri radiološkoj dijagnostici urogenitalnoga sustava te za kontrastne studije gornjega i donjega probavnog sustava.

Zahvaljujući izrazitom tehnološkom napretku tijekom posljednjega desetljeća, posebice razvoju *multislice* tehnologije (MSCT), kompjutorizirana tomografija široko je korištena *imaging* metoda u odrasloj, kao i dječjoj dobi. Danas na CT pretrage otpada približno 10% svih dijagnostičkih slikovnih pretraga, ali istovremeno na CT pretragu otpada više od 50% ukupne kolektivne doze zračenja koja se koristi u dijagnostici (8,9). Upravo je tehnološki napredak CT tehnologije rezultirao značajnim porastom ukupnoga broja CT pretraga, pa tako i CT pretraga u dječjoj dobi. MSCT tehnologija pružila je neke nove, vrlo bitne dijagnostičke kvalitete, kao što su izuzetna brzina skeniranja, mogućnost trodimenzionalnoga prikaza, visoka razlučivost detalja te mogućnost naknadne obrade slike. Tehnološki napredak rezultirao je progresivnim povećanjem broja CT pretraga u kliničkoj pedijatrijskoj praksi, ali se istovremeno javila i zabrinutost zbog viših doza ionizirajućega zračenja te mogućih učinaka na indukciju malignih tumora u dječjoj dobi (10-12). Naime, *multislice* CT tehnologija povezana je sa značajno višim dozama ionizirajućega zračenja za pacijenta u usporedbi s konvencionalnim radiološkim metodama. Djeca su biološki osjetljivija na zračenje, a očekivano trajanje života im je dulje, te je stoga veća vjerojatnost da će se negativni učinci ionizirajućega zračenja ispoljiti u dječjoj dobi (13-15). Stoga je od izuzetnoga značaja smanjiti, odnosno minimalizirati dozu zračenja za dijete kada je potrebno upotrijebiti CT kao *imaging* modalitet (2,16,17).

RACIONALNA PRIMJENA DIJAGNOSTIČKIH SLIKOVNIH METODA U DJEČJOJ DOBI

Primjena slikovnih dijagnostičkih metoda u dječjoj dobi mora biti prilagođena specifičnostima dječje dobi.

Osnovni koncept racionalne primjene *imaging* metoda koje koriste zračenje u dječjoj dobi sadržan je upravo u ALARA principu (*as low as reasonably achievable*) (5). Primjena dijagnostičke metode koja koristi ionizirajuće zračenje u dječjoj dobi mora biti optimizirana na način da maksimalno reducira svaku nepotrebnu ili nepotrebno visoku izloženost radijaciji. Osnovna su načela racionalne primjene slikovnih metoda u dječjoj dobi sljedeća:

- svaka upotreba dijagnostičke slikovne metode koja koristi zračenje mora biti medicinski opravdana, te se izvodi onda kada se očekuje konkretna klinička korist od dijagnostičke informacije za terapiju ili daljnji medicinski postupak s pacijentom;
- uvijek upotrijebiti najmanju moguću dozu zračenja kako bi se dobila dovoljno kvalitetna dijagnostička informacija;
- pretragu raditi ciljano te obuhvatiti samo dio/volumen tijela koji je od dijagnostičkoga interesa;
- izbjegavati višekratno, odnosno ponavljano skeniranje kada je to moguće;
- kada je moguće, upotrijebiti alternativne slikovne dijagnostičke metode koje ne koriste zračenje (MR, ultrazvuk) (2,18).

Procjena opravdanosti za izvođenje pretrage, odnosno poznavanje medicinskih indikacija i smjernica za izvođenje pojedinih dijagnostičkih metoda pri konkretnome kliničkom problemu, jedan je od najvažnijih čimbenika u zaštiti od zračenja. Kad god je to moguće, potrebno je upotrijebiti slikovnu dijagnostičku metodu koja ne koristi ionizirajuće zračenje. Ultrazvuk se u dječjoj dobi smatra primarnom slikovnom dijagnostičkom metodom u mnogim kliničkim okolnostima. Često nam daje dovoljno dijagnostičkih informacija u području svih organskih sustava (2,19). Tako primjerice u Njemačkoj, preko 70% svih dijagnostičkih slikovnih procedura u dječjoj dobi otpada na ultrazvuk (2). Stoga je od izuzetne važnosti posvetiti pažnju primjerenom edukaciji iz ultrazvučne dijagnostike kako bi se maksimalno iskoristio potencijal te dijagnostičke metode. U mnogim je područjima primjene u dječjoj dobi ultrazvuk dijagnostička metoda izbora koja nam daje pouzdanu dijagnostičku informaciju te može u potpunosti nadomjestiti dijagnostičke metode koje koriste ionizirajuće zračenje. Tako je primjerice kod dijagnostike hipertrofičke stenoze pilorusa, ileokoličke invaginacije, apendicitisa, ultrazvuk visokopouzdana dijagnostička metoda izbora u dječjoj dobi (20-22) Sve je šira dijagnostika vezikoureteralnoga refluksa korištenjem ultrazvučne tehnologije i ultrazvučnih kontrastnih sredstava (23,24). Kada su zbog prirode bolesti ili kliničke sumnje potrebne dodatne dijagnostičke informacije, pri snimanju trbušnih i zdjeličnih organa, središnjega živčanoga sustava ili mišićno-koštanoga sustava, magnet-

skoj rezonanciji (MR) treba dati prednost pred kompjutoriziranom tomografijom (CT) (2,18,19). Konvencionalni radiogram ostaje primarna slikovna metoda oslikavanja struktura grudnoga koša te koštano-zglobnoga sustava. CT pretraga trebala bi biti rezervirana za daljnju dijagnostiku pluća i dišnih putova, i za dijagnostiku ozljeda glave ili politrauma. Svaka pojedinačna slikovna dijagnostička studija s primjenom zračenja u dječjoj dobi zahtijeva ciljanu medicinsku, odnosno kliničku indicaciju. Radiografija, fluoroskopija i CT pretraga moraju biti izvođene na optimiziranoj opremi uz upotrebu protokola za djecu kako bi se izloženost zračenju smanjila u maksimalno mogućoj mjeri.

Mnogo je načina na koje je moguće značajno smanjiti izloženost djece i adolescenata zračenju, a da se pri tome ne umanjuje dijagnostička pouzdanost slikovne metode. Glavni čimbenici u smanjivanju izloženosti jesu opravdana i ciljana klinička indicacija, korištenje protokola snimanja prilagođenih dječjoj dobi, te, kada je moguće, korištenje alternativnih slikovnih dijagnostičkih metoda koje ne koriste ionizirajuće zračenje. Od izuzetne su važnosti educiranost i stručnost svih sudionika u dijagnostičkome procesu, od liječnika koji indicira pretragu, radiološkoga tehnologa i radiologa (19). Ultrazvuk i magnetska rezonancija (MR) slikovne su dijagnostičke metode koje ne koriste štetno ionizirajuće zračenje. Često te slikovne metode mogu pružiti kvalitetnu dijagnostičku informaciju te se koriste kao vrijedne alternativne slikovne metode. Zahvaljujući upravo ovim metodama, imaging metode koje uključuju zračenje moguće je koristiti ciljano i uvijek uz konkretnu kliničku indicaciju. Uvođenjem digitalne tehnologije, konvencionalne radiološke metode također su značajno tehnološki unaprijeđene, što omogućuje znatno smanjenje doza zračenja uz istovremeno višu dijagnostičku kvalitetu.

Kliničar koji je indicirao slikovnu pretragu, kao i pedijatrijski radiolog, trebali bi dogovorno odrediti najprikladniju, ali i najsigurniju dijagnostičku slikovnu metodu za dijete u konkretnoj kliničkoj situaciji (18,19).

PROCJENA RIZIKA OD IONIZIRAJUĆEGA ZRAČENJA

Iako ne postoji definitivni, odnosno direktni dokaz da zračenje pri dijagnostičkoj primjeni uzrokuje malignu bolest, neke studije izrađene na velikim populacijama izloženim ionizirajućem zračenju, pokazale su blago povećanje rizika od raka, čak i pri niskim razinama izloženosti, osobito u dječjoj dobi. Međunarodne organizacije koje se bave proučavanjem i procjenom učinaka radijacije slažu se da ne postoji prag doze ionizirajućega zračenja za induciranje maligne bolesti. Stoga se iz razlo-

ga sigurnosti primjene zračenja smatra da i niske doze zračenja mogu izazvati štetni negativni učinak. Rizik nastanka zračenjem induciranih karcinoma treba vrednovati u odnosu na statistički rizik za razvoj karcinoma u čitavoj populaciji. Ukupni rizik od smrti uzrokovane malignom bolesti tijekom životnoga vijeka procjenjuje se na 20-25%. Slijedom navedenoga, za pretpostaviti je da će na svakih 1000 djece 200-250 oboljeti i umrijeti od raka iako nisu bili izloženi dijagnostičkome zračenju (11,22). Procijenjeni povećan rizik nastanka karcinoma tijekom životnoga vijeka od jednoga CT pregleda je kontroverzan, ali se procjenjuje da je taj rizik 0,03-0,05% (11,12,25,26,24). Ti podaci ukazuju kako je rizik od razvoja karcinoma pri jednome CT pregledu vrlo malen, ali zbog kumulativnoga učinka nije zanemariv (25,28,29). Ta je činjenica od osobite važnosti ako imamo na umu kako iz godine u godinu raste broj dijagnostičkih pretraga, u ukupnoj populaciji, i populaciji dječje dobi (12).

Image Gently edukativna je kampanja podizanja svijesti profesionalne i ukupne javnosti, pokrenuta od strane *Alijanse za sigurnost primjene zračenja u pedijatrijskoj radiologiji* (*The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging*) (2,26). Alijansa je osnovana 2007. godine, te predstavlja udruhu profesionalnih organizacija i udruga koje skrbe za sigurnu primjenu zračenja pri dijagnostičkim imaging metodama u dječjoj dobi. Ta koalicija trenutačno uključuje 63 udruge iz područja radiologije, pedijatrije i pedijatrijske medicine, medicinske fizike i radiološke sigurnosti, s više od 500.000 profesionalaca. Osnovni je cilj Alijanse, odnosno te kampanje, ukazati na potrebu da se uvijek, kada se dijagnostičkim *imaging* metodama izlažu djeca, doza i uvjeti snimanja moraju prilagoditi specifičnostima dječje dobi, kako bi primjena tih metoda bila dijagnostički kvalitetna, a istovremeno maksimalno sigurna. Krajnji je cilj te kampanje promijeniti lošu praksu na svim mjestima gdje se *imaging* metode koje koriste zračenje nisu koristile na način koji je optimiziran i primjeren dječjoj dobi (2,28,29).

ZAKLJUČAK

Na današnjemu stupnju razvoja medicine, odnosno tehnologije, ne postoje eventualne druge dijagnostičke slikovne metode koje bi kvalitetno nadomjestile upotrebu metoda koje koriste zračenje. Te se metode koriste i u dječjoj dobi te je o njihovoj upotrebi izravno ovisan rezultat liječenja, odnosno medicinske skrbi. Kako bi se eventualne štetne posljedice koje mogu proizaći iz upotrebe ionizirajućega zračenja reducirale na najmanju moguću mjeru, potrebno je optimizirati kliničku primjenu tih *imaging* metoda, što je od osobite važnosti za njihovu upotrebu u dječjoj dobi. To znači da pretraga mora

biti jasno klinički, odnosno medicinski indicirana i ciljana, dijagnostički uređaji kao i protokoli snimanja moraju biti prilagođeni specifičnim zahtjevima dječje dobi. Kako bi rezultat pretrage bio optimalan, potrebna je uska suradnja liječnika kliničara koji indicira pretragu s radiologom koji mora poznavati način, algoritam, te uvjete primjene slikovnih dijagnostičkih metoda u dječjoj dobi s aspekta sigurne primjene ionizirajućega zračenja.

LITERATURA

- Hall EJ, Giaccia AJ. Radiobiology for the Radiologist. 6. izd. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
- Image Gently. (Internet). The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging. Dostupno na URL: <http://www.pedrad.org/>.
- The RadiologyInfo.org. (Internet). Radiological Society of North America, American College of Radiology. Dostupno na URL: <http://www.radiologyinfo.org/>.
- Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; Ann ICRP. 1990;21.
- The ALARA (as low as reasonably achievable) concept in pediatric CT intelligent dose reduction. Multidisciplinary conference organized by the Society of Pediatric Radiology. August 18-19, 2001. *Pediatr Radiol.* 2002;32:217-317.
- Gelfand DW, Ott DJ, Chen YM. Decreasing numbers of gastrointestinal studies: report of data from 69 radiologic practices. *AJR Am J Roentgenol.* 1987;148(6):1133-6.
- Margulis AR. The present status and future of gastrointestinal radiology. *Abdom Imaging.* 1994;19(4):291-2.
- Amis ES Jr, Butler PF, Applegate KE, Birnbaum SB, Brateman LF, Hevezi JM, i sur. American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine. *J Am Coll Radiol.* 2007;4:272-84.
- Brenner DJ, Hricak H. Radiation exposure from medical imaging: time to regulate?. *JAMA.* 2010;304(2):208-9.
- Arch ME, Frush DP. Pediatric body MDCT: a 5-year follow-up survey of scanning parameters used by pediatric radiologists. *AJR Am J Roentgenol.* 2008;191:611-7.
- Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;176:289-96.
- Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography -- an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357:2277-84.
- Brody AS, Frush DP, Huda W, Brent RL; American Academy of Pediatrics Section on Radiology. Radiation risk to children from computed tomography. *Pediatrics.* 2007;120:677-82.
- Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, i sur. The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks. *Radiat Res.* 2007;167:396-416.
- Chodick G, Ronckers CM, Shalev V, Ron E. Excess lifetime cancer mortality risk attributable to radiation exposure from computed tomography examinations in children. *Isr Med Assoc J.* 2007;9:584-7.
- Donnelly LF. Reducing radiation dose associated with pediatric CT by decreasing unnecessary examinations. *AJR Am J Roentgenol.* 2005;184(2):655-7.
- Frush DP, Applegate K. Computed tomography and radiation: understanding the issues. *J Am Coll Radiol.* 2004;1:113-9.
- Frush DP, Donnelly LF, Rosen NS. Computed tomography and radiation risks: What pediatric health care providers should know. *Pediatrics.* 2003; 112:951-7.
- Goske MJ, Applegate KE, Boylan J, Butter PF, Callahan MJ, Coley BD, i sur. The 'Image Gently' campaign: increasing CT radiation dose awareness through a national education and awareness program. *Pediatr Radiol.* 2008;38:265-9.
- Roić G, Posarić V, Gogolja D, Višnjić S, Jasprica M.. Hipertrofična stenoza pilorusa: radiologijska ili ultrazvučna dijagnostika. *Paediatr Croat.* 2001;45:179-81.
- Roić G, Milić Ž, Gogolja D, Fattorini I. Vrijednost ultrazvučne dijagnostike invaginacije u dječjoj dobi. *Paediatr Croat.* 2001;5:47-51.
- Roić G, Bahtijarević Z, Cvitković A. Acute appendicitis perforated into the bladder. *Pediatr Radiol.* 2003;33(2):147.
- Cvitković A, Brkljačić B, Radoš M, Galešić K. Doppler visualisation of ureteric jets in unilateral hydronephrosis in children and adolescents. *Eur J Radiol.* 2001;39:209-14.
- Cvitković A, Brkljačić B. Primjena doplera u dječjoj nefrologiji i urologiji. *Paediatr Croat.* 2002;46(Supl 1):43-9.
- Huda W, Vance A. Patient radiation doses from adult and pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2007;188:540-6.
- National Research Council. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2. Washington: The National Academies Press; 2005.
- Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB, i sur. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sciences U S A.* 2003;100:13761-6.
- Goske MJ, Applegate KE, Boylan J, Buttler PF, Callahan MJ, Coley BD, i sur. The Image Gently campaign: working together to change practice. *AJR Am J Roentgenol.* 2008;190(2):273-4.
- Roić G, Grmoja T, Posarić V, Marjanović J, Odorčić-Krnjanić M, Cvitković Roić A. „Image Gently“ Racionalni pristup imaging metodama u dječjoj dobi. *Paediatr Croat.* 2012;56 (Supl 1):143-6.

DIAGNOSIC IMAGING METHODS – RADIATION PROTECTION AND RATIONAL USE IN CHILDREN

Goran Roić¹, Andrea Cvitković Roić², Zoran Klanfar³, Mislav Bastić⁴, Vladimir Kalousek³

¹Institute for Pediatric Radiology, University Clinic for Pediatrics Zagreb,
Klaićeva 16, 10 000 Zagreb

²Helena Pediatric Clinic
Svetice 36, 10 000 Zagreb

³Clinical Institute for Diagnostic and Interventional Radiology, Sestre milosrdnice University Hospital Centre
Vinogradska 29, 10 000 Zagreb

⁴University Clinic for Pediatric Surgery, University Clinic for Pediatrics, Zagreb,
Klaićeva 16, 10 000 Zagreb

Correspondence to:

Prof. dr. sc. Goran Roić
Klinika za dječje bolesti Zagreb
Klaićeva 16, 10000 Zagreb
goran.roic@kbcsm.hr

Reviews

ABSTRACT

Diagnostic imaging techniques using radiation include X-rays, computed tomography (CT) scans, and radionuclide (*nuclear medicine*) studies. Children are more sensitive to radiation exposure than adults and have a longer time ahead of them to manifest radiation-induced effects and injuries. Therefore, it is of great importance to reduce or minimise the radiation dose to children when choosing imaging techniques using radiation for diagnostic purposes. The “*Image Gently*” campaign is an initiative of the *Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging*. The goal of the campaign is to change clinical practice by increasing awareness of the opportunities to promote radiation protection in the imaging of children. This article reviews the radiation protection in paediatric diagnostic imaging with regards to the adjustment of imaging protocols in routine clinical practice.

Key words: diagnostic imaging methods, children, ionizing radiation