

Ing. Dana Drábová, Ph. D.,
předsedkyně Státního
úřadu pro jadernou
bezpečnost



Co je bezpečné?

Nedávno se mne studenti při jedné z přednášek zeptali, zda bych byla ráda, kdyby mi někdo k narozeninám věnoval seskok s padákem. A zda bych do toho šla. První reakce? Ani náhodou. To tak, skočit z letadla ve výšce čtyři kilometry nad zemí a doufat, že se padák opravdu otevře a já pomalu a lehounce přistanu na zemi bez zlamaných kostí. A studenti polemizovali, že je to úžasný zážitek a stojí to za trochu strachu. Což nás přivádí k hledání odpovědi na vsudypřítomnou otázku: Co je bezpečné? Stále častěji se s ní setkávám i v diskusích s odborníky i „odborníky“ na radiační ochranu. Už mnohokrát jsem měla příležitost vysvětlovat, jak bezpečné či nebezpečné jsou mikrosieverty, které provázejí vypusti z jaderných elektráren při normálním provozu nebo plánované jako limity pro budoucí jaderné úložiště. Stejně jako u skoku s padákem je to především otázka důvěry. Věříme, že jsme v dobrých rukou profesionálů, kteří znají svou věc a nedopustí, abychom se octli v nebezpečí. V poslední době vidíme snahu o stanovení „bezpečné dávky záření“, která by usnadnila přístup a hlavně vysvětlování závažnosti různých situací, kdy se zářením přicházíme do styku. Lze pro všechny situace říci, že dávka menší než nějaká předem daná hodnota je bezpečná? Například proto, že pro dávky nižší než takováto hodnota neexistuje žádný statistický důkaz poškození? Míra bezpečnosti či ohrožení velmi záleží na kontextu, na konkrétní situaci. Vždy musíme posuzovat přínosy, rizika a náklady toho, co se rozhodneme udělat, či neudělat. V radiační ochraně se tomu říká princip zdůvodnění. Jeho důsledným a poctivým používáním sice nestanovíme bezpečnou dávku, ale dokážeme případ od případu poskytnout lidem podklady pro rozhodnutí, co je pro ně v daném kontextu přijatelné. Diskuse o přínosech, nákladech a rizicích je obtížná, často emotivní a iracionální, ale krok po kroku vede k porozumění mezi odborníky a laiky. Je však lepší, i když náročnější a namáhavější cestou než stanovení jedné hodnoty bezpečné dávky jednou provždy a pro všechny situace. Nezapomínejme, je to otázka důvěry.

Otázka malých dávek při lékařském ozáření

V novém čísle Bulletinu RENTGEN otevíráme stále diskutovaný problém rizika malých dávek záření, které jsou spojeny s lékařským ozářením při diagnostických výkonech. Hrozí pacientům riziko rakoviny? Existuje bezpečná dávka? Kolik rentgenových vyšetření mohou pacienti absolvovat? O vysvětlení jsme požádali Ing. Karlu Petrovou, ředitelku sekce radiační ochrany Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.



1. Co rozumíme pod pojmem „malé dávky záření“ a kde se s nimi při lékařském ozáření setkáváme

Možná to bude někomu znít podivně, ale za malé nebo také nízké dávky (low doses) jsou obecně považovány dávky pod 100mSv. Dokument UNSCEAR 2010 Report: „Summary of low-dose radiation effects on health“ uvádí, že za nízké dávky lze považovat dávky pod 200 mGy a za nízký dávkový příkon 0,1 mGy/min pro záření gama a záření X. UNSCEAR 2012 pak v Annex A: „Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks“ definuje nízké dávky v rozmezí 10 až 100 mGy a velmi nízké dávky pod 10 mGy. Pro dávky vyšší než 100 mSv je také jednoznačně prokázán vztah mezi dávkou a účinkem – a to zejména „díky“ velkému souboru dat z dlouhodobého sledování účinků po ozáření u obyvatel Hirošimy a Nagasaki po výbuších jaderných bomb. Nicméně tato specifikace „nízkých dávek“ není nijak univerzální, v literatuře lze nalézt i jiné hodnoty – záleží na účelu, pro který se taková specifikace zavádí. Je však potřeba mít na paměti, že slovo „malý“ nebo „nízký“ neznamená automaticky zanedbatelný nebo nehodný pozornosti. Dá se říci, že dávky realizované při lékařském ozáření v diagnostice jsou vesměs dávkami nízkými. Podle základních principů radiační ochrany však stále aplikujeme při lékařském ozáření princip zdůvodnění a optimalizace, nestanovujeme limity, avšak zavádíme tzv. diagnostické referenční úrovně, které by měly zajistit určitou regulaci ozáření při jednotlivých typech vyšetření, definujeme radiologické standardy, zavádíme interní a externí klinické audity, požadujeme pravidelné zkoušky zdrojů a to vše za účelem dosažení tak nízkých dávek jak je to možné při zachování požadované diagnostické informace při daném vyšetření. Současně by měl být aplikován tzv. odstupňovaný přístup – tzn.

zvýšená pozornost je věnována zejména těm vyšetřením, která jsou spojena s relativně vyššími dávkami pacientů i personálu – tedy intervenční radiologie, kardiologie, CT, apod. a zejména pak vyšetřením dětí. Tento přístup zůstane zachován i nadále a je obecně považován za správný a zdůvodněný.

2. Proč se této problematice věnuje zvýšená pozornost?

Problematika lékařského ozáření je obecně velmi komplexní záležitostí, kde se prolínají kompetence SÚJB a MZ ČR (tedy zájmy radiační ochrany a zájmy klinické) a zájmy různých odborných společností. Lékařské ozáření se dotýká celé populace – dětí, dospělých, těhotných. Ročně se v ČR provede asi 16 mil. vyšetření pomocí ionizujícího záření (z toho 4 mil. vyšetření zubů). Samozřejmě toto číslo musí být doplněno o strukturu vyšetření a jejich frekvence a počty vyšetřovaných osob, abychom si mohli udělat reálný obrázek o radiační zátěži populace a jednotlivců (obr. 1, 2 na následující straně). SÚJB ve spolupráci s MZ ČR věnuje problematice lékařského ozáření zvýšenou pozornost, podařilo se založit pracovní skupinu, složenou ze zástupců všech dotčených stran, která se zabývá aktuálními otázkami v této oblasti. V současné době je aktuálním tématem zdůvodnění lékařského ozáření – podle odhadů WHO je údajně až 40 % vyšetření nezdůvodněných. Toto číslo nelze pro ČR potvrdit a nedomníváme se, že je na tak vysoké úrovni, nicméně je potřeba se této problematice dostatečně věnovat a např. se pustit co nejdříve do aktualizace tzv. indikačních kritérií, která jsou významnou pomůckou při zdůvodnění lékařského ozáření.

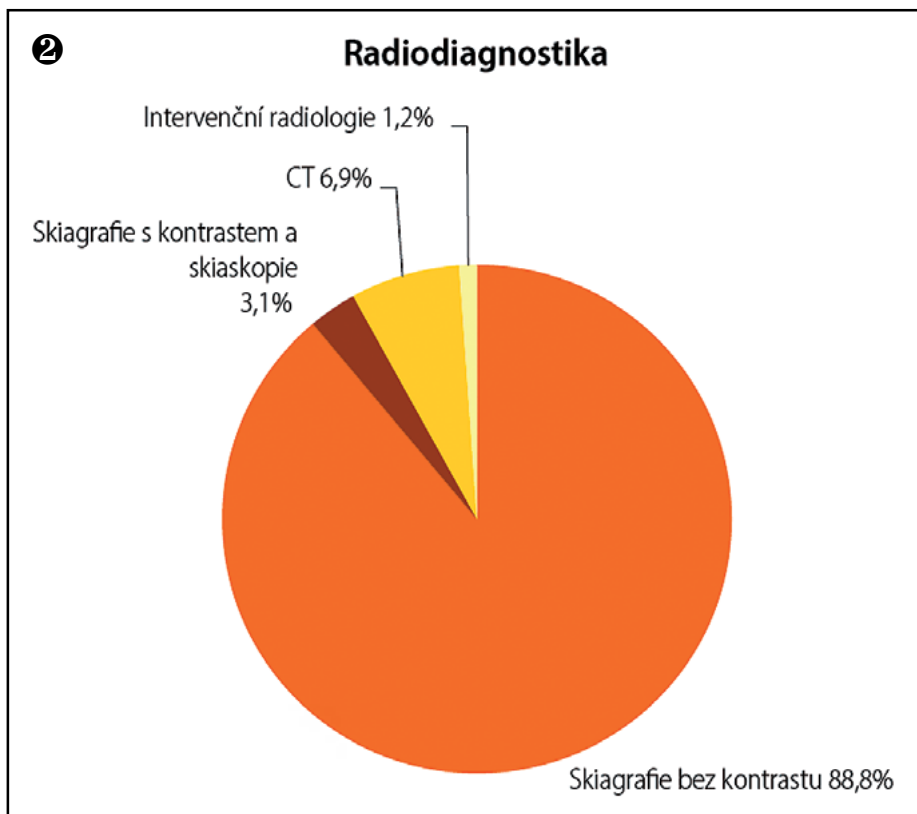
3. Jaký je přístup k této problematice v zahraničí?

Mezinárodní organizace působící v oblasti radiační ochrany se problematice lékařského ozáření (LO) věnují prioritně. Z hlediska (Pokračování na straně 2)

Otázka malých dávek při lékařském ozáření

(Dokončení ze strany 1)

radiační zátěže populace se jedná o největší zdroj ozáření z umělých zdrojů záření. V poslední době bylo publikováno několik doporučení ICRP a bezpečnostních standardů IAEA, které se LO zabývají. Velmi aktivní je také sdružení evropských regulátorů v radiační ochraně tzv. HERCA a její pracovní skupina pro LO. Podařilo se vytvořit platformu, v rámci které se setkávají všechny dotčené mezinárodní organizace jako IAEA, EK, WHO, ESR, EANM, EFOMP, ale např. i výrobci CT – zkrátka organizace nějakým způsobem angažované v LO a snaží se koordinovat svou činnost v této oblasti. Ráda bych zde také zmínila, že v současné době rozhodně není podporováno mezinárodními organizacemi jako ICRP, UNSCEAR a další, aby byly prováděny výpočty kolektivních dávek za účelem aplikace koeficientů rizika a tedy provádění odhadů počtu vzniku rakovin a úmrtí. Tento postup je zcela chybný, koeficienty rizika odvozené z epidemiologických studií neslouží k tomuto účelu, navíc věková struktura vyšetřovaných osob je zcela odlišná od běžné populace. Pokud je kolektivní dávka z různých druhů zdrojů vyjádřena, slouží zejména k porovnání radiační zátěže a k případnému rozhodování o stanovení priorit a přerozdělení zdrojů, které jsou ve společnosti v daném okamžiku k dispozici. Před nějakou dobou se v časopise Radiology objevil článek (autorů Hendee and O'Connor) velmi výstižně shrnující situaci v oblasti hodnocení rizika v oblasti malých dávek a varující před zneužíváním koeficientů rizika pro ionizující záření za účelem výpočtu potenciálních úmrtí z LO. Autoři správně upozorňují, že takový postup zbytečně v lidech vyvolává strach, který může vést až odmítání životně důležitých vyšetření, a tím k mnohem většímu riziku a újmě než je spojeno s velikostí ozáření při daném vyšetření. Článek vyvolal v odborných lékařských kruzích velkou pozornost, ale někdy byl nesprávně interpretován. Autoři nijak nezpochybňují



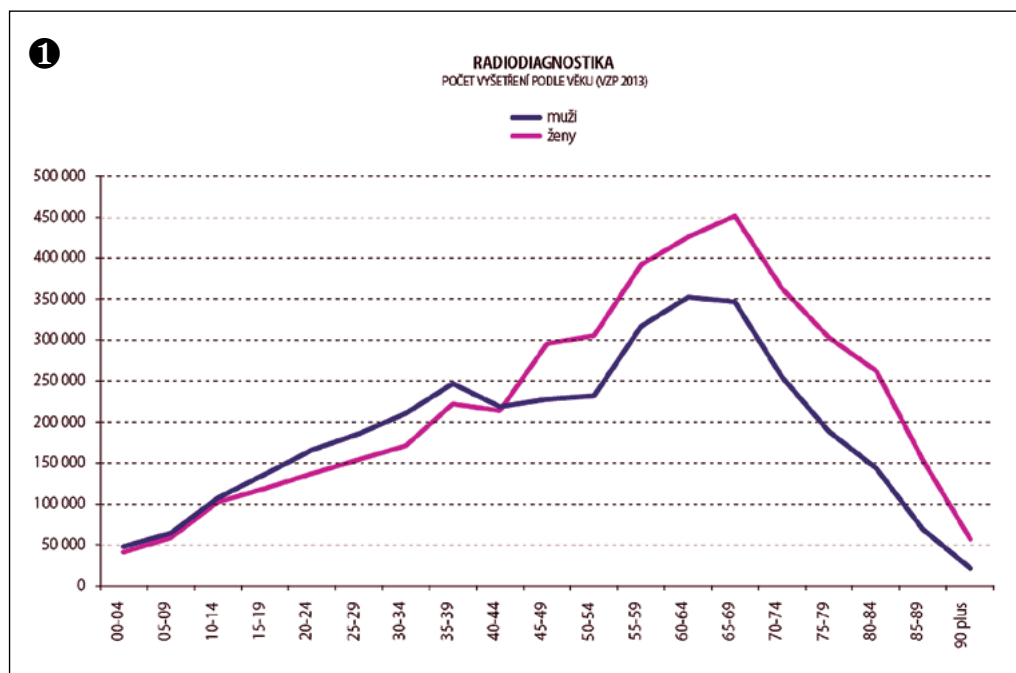
základní principy radiační ochrany, naopak se k nim hlásí, jen navrhuji, aby komunikace rizika s pacienty a jejich nezbytné poučení bylo adekvátní tomu, že se jedná ve většině případů o velmi nízké dávky.

4. Jaké je riziko a jaký je přínos z malých dávek pro pacienta?

Jak jsem již uvedla výše, jedná se v případě LO při diagnostice vesměs o nízké dávky – samozřejmě ovšem v relativně velkém rozsahu, kdy jednoduchý rentgen plic znamená dávku 0,08 mSv a složitější vyšetření břicha nebo CT vyšetření může znamenat

až desítky mSv na jedno vyšetření. Nicméně s klidným svědomím lze konstatovat, že pokud je dané vyšetření pomocí ionizujícího záření správně indikováno, optimalizováno a aplikováno, je riziko spojené s takovým vyšetřením vždy vyváжено přínosem pro vyšetřovanou osobu. SÚJB důsledně kontroluje dodržování principů radiační ochrany při použití zdrojů ionizujícího záření a na základě výsledků této kontrolní činnosti lze konstatovat, že úroveň radiační ochrany při aplikacích ionizujícího záření v medicíně je v ČR na vysoké úrovni.

Setrvalým problémem zůstává nalezení vhodného způsobu komunikace zásad radiační ochrany tak, aby byly pochopitelné i laické veřejnosti. Některé souvislosti a důvody, proč a jak jsou postupy radiační ochrany aplikovány, není snadné jednoduše vysvětlit a někdy ve snaze o toto zjednodušení dochází ke zkreslení až k hrubé dezinformaci, a tím ke zbytečné demonizaci účinků ionizujícího záření. V nedávné době se např. objevila v médiích zpráva, kdy zvýšený výskyt rakoviny štítné žlázy byl dáván mj. do souvislosti s použitím ionizujícího záření v lékařství, konkrétně pak se zubními rentgenovými snímky. Takové informace, které se bohužel v médiích občas vyskytnou, jsou zavádějící a zcela nesprávné a svědčí o neznalosti problematiky. Proces vzniku rakoviny štítné žlázy je multifaktoriálním procesem, přičemž jedním ze známých rizikových faktorů při vzniku rakoviny – a tedy



i při vzniku rakoviny štítné žlázy – je ionizující záření. Je také znám vztah mezi obdrženou dávkou a pravděpodobností vzniku rakoviny různých orgánů. Ovšem stanovení příčinné souvislosti mezi určitým druhem nádoru vyskytující se v populaci a některým z možných rizikových faktorů není snadné – viz také článek RNDr. L. Tomáška v tomto bulletinu. Není možné vybrat pouze jeden tento faktor a bez zkoumání dalších souvislostí mu přisoudit zásadně převažující vliv. Vzhledem k tomu, že hodnoty dávek ionizujícího záření, kterému je člověk vystaven při většině standardních rentgenových vyšetření, jsou velmi nízké, je příspěvek ke zvýšení pravděpodobnosti výskytu rakoviny oproti ostatním rizikovým faktorům zanedbatelný. Efektivní dávka z intraorálního snímku zubů je asi 5 μ Sv. Pravděpodobnost vzniku rakoviny ve vztahu k tak nízké dávce je zcela zanedbatelná a vzhledem k tomu, že celoživotní riziko úmrtí na rakovinu je asi

25 procent, je zřejmé, že vliv dalších podmínek vzniku a rozvoje nádorů musí významně převažovat nad vlivem ionizujícího záření.

5. V poslední době se objevuje pojem „bezpečná dávka“ – co to znamená a kde ho lze použít?

Trvalým problémem, se kterým se radiální ochrana potýká, je nemožnost, za stávající úrovně vědění, vědecky prokázat příčinnou souvislost mezi ozářením nízkou dávkou a vznikem stochastického účinku – tedy nádorů různých orgánů a tkání. V této oblasti nízkých dávek pracujeme stále s hypotézou lineárního a bezprahového vztahu mezi dávkou a účinkem na základě principu předběžné opatrnosti. Tento konzervativní přístup nedělá zásadní problém v případě tzv. plánovaných expozičních situací, ale v poslední době se objevují názory, zda by nebylo vhodné a užitečné pro tzv. nehodové expoziční situace stanovit něco

jako „bezpečnou dávku“, pod kterou by nebylo potřeba dělat nějaká zásadní ochranná opatření, přechodně by bylo možno tuto úroveň ozáření tolerovat a bylo by asi mnohem snazší ji komunikovat s veřejností. Objevují se také již návrhy hodnot pro tuto bezpečnou dávku na úrovni 100 nebo 50 mSv. Je ovšem potřeba velmi zdůraznit, že tyto úvahy se týkají jen a pouze havárií a jiných mimořádných událostí s omezenou dobou trvání. Přestože, jak bylo uvedeno výše, většina dávek realizovaných při lékařském ozáření v diagnostice by spadala do kategorie nízkých dávek, v žádném případě na ně nelze aplikovat označení bezpečná dávka – je to zkrátka nevhodné a v této oblasti v podstatě bez praktického využití. Je také nutno říci, že koncept „bezpečné dávky“ nebyl zatím na mezinárodní úrovni přijat jako konsensus a vedou se o něm bouřlivé diskuse mezi jeho zastánci a odpůrci.

Radiobiologie malých dávek ionizujícího záření



Několik radiobiologických poznámek k účinku malých dávek na člověka nám poskytl Prof. MUDr. Vladislav Klener, CSc. ze Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

Řešení otázky účinku malých dávek ionizujícího záření by nezdůvodňovalo samostatný přístup, kdyby v celém rozsahu dávek, které mohou působit na člověka, se uplatňovaly ve stejné míře tytéž a jen tytéž patofyziologické mechanismy. Ale už fenomén adaptivní odpovědi, dobře experimentálně doložený, ukazuje, že tomu tak není. Jedná se o jev, kdy se podmiňující dávka na úrovni několik mGy projeví tím, že po několika hodinách snižuje efekt následných dávek v oblasti nad 1 Gy (testováno na malých hlodavcích). Z možných vysvětlení budí pozornost především názor, že malými dávkami jsou aktivovány reparační mechanismy, které pak ovlivní celkový výsledek. Zvyšování podmiňující dávky by ovšem působení tohoto efektu nezvyšovalo, naopak zrušilo.

Otázka mechanismů působících odlišně v závislosti na úrovni dávek se stala v posledních letech opět aktuální. V roce 2012 byl zpracován dokument Vědeckého výboru Spojených národů pro účinky atomového záření (UNSCEAR) nazvaný Biologické mechanismy účinků malých dávek, který na 35 stranách shrnuje aktuální poznatky. V rámci tohoto dokumentu jsou jako malé dávky označovány ty, kdy efek-

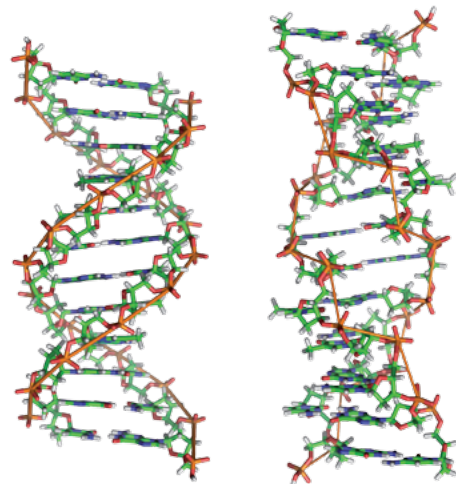
tivní dávka nebo ekvivalentní dávka nepřekročí 100 mSv.

K základním mechanismům poškození buněk v důsledku jejich přímého zasažení ionizujícím zářením patří na prvním místě zlomy obou vláken dvojitá vlákna chromozomové DNA, menší význam mají zlomy jediného vlákna a změny dílčích složek DNA. Změny genomu*, které jsou následkem těchto poškození (výsledek špatných nebo nedokončených oprav, které buňka provede), se přenášejí na všechny následující generace buněk a mohou vést k nepříznivým zdravotním následkům (např. ke vzniku nádorů nebo dědičných poruch).

Také v pásmu malých dávek se odehrávají v buňkách tyto ionizační události, ale vyskytují se s menší pravděpodobností, jak to odpovídá aplikaci hypotézy bezprahové lineární závislosti na tuto oblast. Vedou ke změnám informace uložené v DNA. Zopakujeme si jakými cestami a nástroji se realizuje dosažení cíle určovaného genomem. DNA je jakýsi manuál předepisující jednotlivé navazující kroky – logickou kaskádu kroků směřujících k výsledku určovanému projektem. Bezprostředním produktem (otiskem) DNA (po prvotní transkripci na RNA) je řetěz aminokyselin tedy bílkovina (protein) nebo peptid (označení jen „krátké“ bílkoviny). Tyto bílkoviny nemají funkci stavebních kamenů tkání, ale regulačních působků, jejichž soubor v organismu (proteom) řídí už bezprostředně buněčné procesy. Tato cesta od programu k realizaci „zamýšleného“ výsledku se nazývá **exprese genů**. Přenos genetické informace v rámci individuálního organismu je třeba nahlížet vždy v úplnosti, tj. jak z hlediska programu v DNA, tak i podmínek její exprese. Účinky záření týkající se změny informace v DNA jsou **poruchy genetické**, změny na cestě k dosažení určeného výsledku jsou **změny epigenetické**. Za cha-

rakteristickou biochemickou změnu je zde pokládána metylace dusíkatých basí DNA, nebo acetylace bílkoviny histonu, tvořící kostru chromozomů.

K těmto epigenetickým změnám mohou vést i ty účinky ionizujícího záření, které označujeme jako **procesy mimoterčové**, k nimž patří např. **efekt neúčastného pozorovatele** (bystander effect – přenos účinku i na buňky, které nebyly přímo zasažené) nebo **efekt genomické nestability** (variantní přenos genetické informace v následných buněčných generacích). Epigenetické změny způsobuje řada zevních faktorů, nejen



DNA, Wikimedia Common

ionizující záření. Zajímavé přitom je, že i epigenetické změny mohou být přenášeny na následující generace buněk.

Souhrnně lze konstatovat, že u malých dávek vystupuje na rozdíl od velkých dávek do popředí význam epigenetických změn vyvolaných zářením. Dosud však chybí důklad, že by epigenetické změny vyvolané malými dávkami měly odezvu ve zdravotním stavu ozářeného jedince (radiation-related disease).

* Genom je veškerá genetická informace uložená v DNA konkrétního organismu.

Použití lékařského ozáření a jeho přínos



Rentgenové záření se v medicíně začalo využívat vzápětí potom, kdy Wilhelm Conrad Röntgen zveřejnil svůj objev. Zpočátku škodlivé účinky paprsků X nebyly známe. Proto se zdálo, že zdravotnictví má v rukách naprosto bezpečný nástroj, kterým lze zkoumat anatomii lidského těla a pochody v něm probíhající. Tuto představu má řada lékařů dosud.

Prof. MUDr. Vlastimil Válek, CSc., MBA,
předseda Radiologické společnosti ČSL JEP

Rozvoj intervenční radiologie v 70 a 80 letech dvacátého století a především objev a rychlé šíření výpočetní tomografie znamenaly další impuls využití rentgenového záření v diagnostice a intervenční radiologii. Nástup digitalizace, využívání stále nových softwarů a nepřeberné množství možností postprocesingového zpracování získaných dat znamenalo další rozvoj radiologie.

Postupně tak došlo k tomu, že rentgenové vyšetření dnes provádíme každému pacientovi a pokud nemá nemocný alespoň snímek plic, jako by nebyl u doktora. Skiagrafie, skiaskopie nebo CT patří k naprosto základním vyšetřovacím postupům a de facto tímto vyšetřením ve většině zdravotnických zařízení začíná „komunikace“ s pacientem a „zjišťování“, co pacientovi je.

Byť studenty stále učíme, že základem vyšetření je poklep, pohmat, poslech a anamnéza, realita v praxi je jiná. Jednodušší, než odebrat anamnézu, je vyplnit žádanou na CT celého těla. A je to také rychlejší než laboratorní vyšetření. I velmi složité CT vyšetření trvá sekundy či minuty, snímky jsou k dispozici v digitální podobě prakticky ihned a při využití PACSu dostupné každému lékaři. Proto je pro mladého lékaře snadné si zvyknout na dnes běžnou úvahu – uděláme rentgen a CT a pak uvidíme.

Zátěž nemocného zářením je u řady výkonů velká. Indikace těchto výkonů je proto pečlivě zvažovaná. Vývojem nových přístrojů a pečlivým výcvikem lékařů, kteří tyto výkony provádí, se tato zátěž ale postupně snižuje. Otázka je, zda se nepřiblížil čas, kdy bude třeba sledovat, jakou mají průměrnou dobu skiaskopie u stejných výkonů jednotliví lékaři. A pokud budou mít někteří z nich výrazně delší, bude zřejmě nutné hledat řešení takových situací.

V případech skiagrafie a CT vyšetření je situace jiná. Dostupnost těchto metod vede k je-

chví nekontrolovanému nadužívání. Typickým příkladem je provádění snímku hlavy (lebky). Toto dnes zcela běžné skiagrafické vyšetření prakticky nemá smysluplnou indikaci, která by zdůvodnila sice malou, ale přesto existující radiační zátěž pacienta a jeho očí. U úrazů a bolestí hlavy, kdy se toto vyšetření provádí, negativní nález žádnou chorobu nevyvolá. Naopak jakýkoliv patologický nález musí být tak jako tak dále vyšetřen na CT či magnetické rezonanci. Indikující lékař i aplikující odborník si musí vždy uvědomit, že rentgenové vyšetření je něco jako křižovatka. Předtím, než vlastní vyšetření provedou, musí být zcela jasné, jak negativní či pozitivní nález změní další vyšetřování a léčbu nemocného. Pokud jinak, pak je takovéto vyšetření zcela zbytečné. Proto musí být na každé žádance o rentgenové vyšetření jasně formulovaná otázka, na kterou má radiolog odpovědět.

Přes to všechno je přínos rentgenových vyšetření pro nemocné naprosto zásadní. Radiologie se stala klíčovým oddělením

každé nemocnice. Pomocí snímků zobrazíme jednotlivé anatomické struktury a jejich patologické stavy. CT se stalo základní metodou volby. Dnes bez RTG či CT vyšetření v mnoha oborech nelze diagnózu stanovit. V urgentní medicíně se rychle a kvalitně provedené CT vyšetření stalo nenahraditelným. Pro nemocného, který trpí bolestí, je akutně provedené rentgenové vyšetření často naprosto zásadním prvním krokem ke stanovení diagnózy a zahájení léčby.

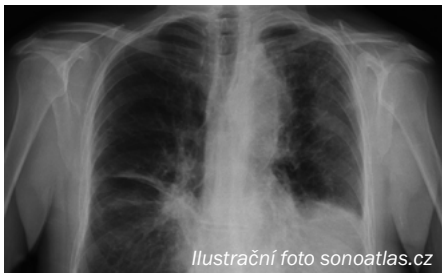
Intervenční radiologie se stala samostatným oborem a zasahuje nebo přímo ovládá řadu oborů dalších. Výkony v urologii, gastroenterologii, traumatologii, neurochirurgii a řadě dalších oblastí se provádí ve velkém rozsahu pod skiaskopickou kontrolou. Intervenční kardiologové řeší řadu chorob srdce pomocí intervenčních výkonů prováděných pod skiaskopickou kontrolou. Intervenční radiolog dnes léčí postižení cév, různé tumory, aneurysmata (nejen mozkových tepen), cévní mozkové příhody a spoustu dalších chorob a patologických stavů u všech věkových skupin pacientů. Vše toto probíhá opět pod kontrolou skiaskopie nebo CT.

Závěrem lze shrnout, že přínos lékařského ozáření je dnes v medicíně obrovský a nenahraditelný. Neprovedení či špatné provedení RTG či CT vyšetření může vést i ke smrti pacienta. To ale nic nemění na tom, že tyto neviditelné paprsky mohou pacienta svými účinky poškodit a proto je třeba jejich využití nebrat jako samozřejmost, ale medicínsky ho vždy řádně zdůvodnit.

TYPICKÉ HODNOTY EFEKTIVNÍCH DÁVEK z rentgenových vyšetření

V následující tabulce jsou uvedeny typické hodnoty efektivní dávky pro vybraná diagnostická a intervenční rentgenová vyšetření. Hodnoty představují typickou hodnotu stanovenou za předpokladu standardního průběhu vyšetření pro skupinu standardních pacientů. Hodnoty jsou stanoveny na základě výsledků národní dávkové studie provedené SÚRO, v. v. i. v letech 2012 – 2014, financované Technologickou Agenturou České republiky (projekt č. TB01SUJB071 Výzkum ozáření populace a optimalizace radiační ochrany při lékařském ozáření v ČR). Hodnoty v tabulce slouží k porovnání míry ozáření z různých vyšetření, nebo k porovnání míry ozáření z jiných zdrojů (např. přírodní ozáření). Tyto hodnoty neslouží k posouzení, zda byla konkrétnímu pacientovi aplikována správná (optimální) dávka a neslouží k hodnocení rizika z těchto vyšetření pro konkrétní pacienty ani pro populaci pacientů.

Typická vyšetření rozdělená do skupin dle zobrazovací modality	Typická efektivní dávka (mSv)
Skiagrafie	
Plíce	0,03
Krční páteř	0,04
Hrudní páteř	0,33
Bederní páteř	0,78
Břicho	0,35
Pánev	0,28
Mamografie screening	0,31
Mamografie ostatní	0,16
Skiagrafie/skiaskopie	
Žaludek	2,5
Tlusté střevo	4,1
Pasáž GIT	2,3
Vylučovací urografie	1,6
Koronarografie	8,2
Výpočetní tomografie	
Hlava	1,6
Krk	2,0
Hrudník	5,9
Páteř	6,6
Břicho	10,0
Pánev	7,4
Trup (hrudník, břicho, pánev)	17,2
Intervenční výkony	
Perkutánní koronární intervence	14,9



Ilustrační foto sonoatlas.cz



Ilustrační foto radiologieplzen.cz

Epidemiologické studie jsou standardním nástrojem k prokázání škodlivého působení nějakého vnějšího vlivu na člověka. Stejně tak je tomu u ionizujícího záření. Nejznámější a referenční epidemiologickou studií je studie osob přeživších bombardování Hirošimy a Nagasaki. Epidemiologické studie týkající se ozáření nezpochybnitelně prokázaly účinky ozáření na člověka v oblasti dávek vysokých (nad 100 mSv

efektivní dávky). V oblasti dávek nízkých (pod 100 mSv) taková prokazatelná studie chybí. Určitou naději přináší epidemiologické studie na dětech vyšetřovaných CT. Těchto vyšetření se provádí dostatečné množství pro získání velké skupiny ozářených jedinců a zároveň je k dispozici velká skupina jedinců neozářených nebo ozářených málo. Riziko spojené s účinky ionizujícího záření obecně závisí na velikosti dávky či expozice. Míra ozáření z vyšetření CT se pohybuje na úrovni efektivní dávky 5 – 10 mSv na jedno vyšetření. Aby bylo možné prokázat při takto nízkých efektivních dávkách míru rizika pomocí epidemiologických studií je nutno shromáždit data, včetně individuálních dávek ozářených pacientů, pro velké množství osob, a proto studie musí být poměrně rozsáhlé.

V posledních letech byly publikovány dvě rozsáhlé studie. Jedna z nich, založená na 180 tisících Britů do 21 let a publikovaná v roce 2012 v časopisu Lancet (Pearce et al), uvádí rizika pro leukémii a rakovinu mozku (včetně CNS). U obou lokalizací bylo riziko ve vztahu k dávce statisticky významné. Jiná a mnohem rozsáhlejší studie (11 milionů australských dětí do 19 let) byla publikována v roce 2013 v British Medical Journal (Mathews et al). V této studii (680 tisíc osob) bylo statisticky významné riziko pozorováno u řady lokalizací.

Obě studie však vyvolaly řadu kritických reakcí, zejména proto, že odhadnutá rizika z CT vyšetření nerozlišují indikaci k vyšet-

Radiační rizika z CT vyšetření



Význam epidemiologických studií jako nástroj k prokázání škodlivého působení vnějších vlivů, zejména pak ionizujícího záření na člověka, vysvětluje RNDr. Ladislav Tomášek CSc, pracovník Státního ústavu radiační ochrany.

ření. Např. v australské studii bylo největší relativní riziko vzhledem ke skupině neozářených osob (RR=2,13) pozorováno u 283 rakovin mozku a CNS, přičemž 210 případů z nich bylo indikováno pro CT vyšetření mozku, což naznačuje, že důvodem těchto vyšetření bylo právě podezření pro rakovinu mozku. Výsledky pro ostatní případy publikovány nebyly.

U britské studie bylo kritizováno, že odhady koeficientů rizika (na jednotku absorbované dávky) jsou mnohonásobně vyšší než v jiných studiích. Např. u leukémie (74 případů) bylo zjištěno 36 násobné zvýšení rizika na 1 Gy, zatímco ve studii obyvatel Hirošimy a Nagasaki je tento koeficient (8 násobné zvýšení na 1 Gy) u osob ve srovnatelném věku do 10 let více než 4 krát menší. U nádorů mozku a CNS (135 případů) je riziko na jednotku dávky více než 20-násobné ve srovnání s japonskou studií. Tyto zvýšené odhady jsou proto považovány za značně nevěrohodné. Je otázka, zda taková studie v rozsahu dávek na kostní dřeň do 60 mGy má potřebnou statistickou sílu k prokázání rizika. Obecně síla studie závisí na počtu případů a velikosti a distribuci dávek. Např. u leukémie by při průměrné dáv-

ce 30 mGy bylo k zajištění 80% statistické síly potřeba cca 200 případů (UNSCEAR), což britská studie nespĺňuje.

Kromě těchto důvodů byly kritizovány i odhady dávek. Zejména v australské studii zcela chybí individuální dozimetrie a odhady rizika jsou vztaženy pouze na počet opakovaných vyšetření.

I když již publikované studie přináší rozporuplné výsledky, potenciál prospektivních epidemiologických studií na dětech vyšetřovaných CT je zřejmý. V těchto studiích je zásadní existence národního registru onkologických onemocnění nebo jiného jedinečného systému a sledování jak indikace pacientů k CT vyšetření, tak historie individuálně stanovených dávek. V současné době probíhá Evropskou komisí financovaná nadnárodní evropská epidemiologická studie EPI-CT (<http://epi-ct.iarc.fr/>). Zatím byla v roce 2015 publikována práce v British Journal of Cancer (Journey et al), která je založena na sledování 67tis. osob. V této studii byly registrovány i indikace k CT vyšetření. U rakovin CNS (22 případů) a leukémií (17 případů) je podíl indikovaných CT vyšetření zhruba 1/3. V práci jsou uvedeny odhady koeficientů rizika na 1mGy, které jsou u rakovin CNS poloviční, když se bere v úvahu indikace vyšetření. U leukémií je redukce koeficientu rizika 80 %. Tyto odhady, třebaže založené na relativně malých počtech případů, naznačují důležitost znalosti indikací k vyšetřením v hodnocení epidemiologických studií. Na statisticky významné výsledky z této a následných studií ale bude třeba ještě několik (desítek) let počkat, až budou k dispozici větší počty případů.

Hodnocení rizika ozáření těhotných pacientek

Základní právní normou upravující podmínky související s lékařským ozářením (LO) je zákon č. 18/1997 Sb. Pravidla LO jsou stanovena v paragrafech 4 a 7 tohoto zákona a v prováděcí vyhlášce č. 307/2002Sb. (V 307). Dále pak v paragrafech 70-73 zákona č. 373/2011Sb. a ve vyhlášce č. 410/2012 Sb. (vyhláška). Postupy ozáření žen v reprodukčním věku jsou uvedeny v Národních radiologických standardech (dále jen NRS), které jsou vydány Věstníkem – viz http://www.mzcr.cz/Legislativa/dokumenty/vestnik-c2/2016_11347_3442_11.html

MDr. Hana Podškubková, inspektor RO, Oddělení evidencí a hodnocení ozáření, SÚJB

Vyhláška uvádí, že LO v průběhu těhotenství lze provést jen v neodkladných případech a z důvodu indikace pro potřeby porodu. V praxi dochází k ne zcela správné interpretaci tohoto ustanovení z hlediska rizika ozáření. Setkáváme se s neúměrnými obavami před možným rizikem pro zárodek/plod, při jakémkoliv rtg vyšetření těhotné ženy. Obavy z důsledků ozáření vedou dokonce až k požadavku na přerušení těhotenství.

Dalším příkladem je neodůvodněně odložené rtg vyšetření těhotné ženy ve snaze uchránit plod jakéhokoli ozáření. Neprovedení rtg vyšetření může mít za následek pozdní diagnózu závažného onemocnění, což může ohrozit nejen matku, ale i dítě. Je zřejmé, že výklad „neodkladného případu“ bývá lékaři vnímán odlišně. Účelem neodkladné péče je ale nejen omezit vznik náhlých stavů, které bezprostředně ohrožují život, ale i zamezit stavu, který způsobuje náhlou nebo intenzivní bolest. Je na lékaři, jak stav posoudí a kdy rozhodne, že pacientku, tedy i zárodek/plod lze vystavit ozáření. K tomuto rozhodnutí musí mít dostatečnou znalost rizika spojeného s ozářením pro ženu a hlavně pro zárodek/plod. Až na základě těchto znalostí by měl přistupovat k indikaci a případné realizaci nebo nerealizaci rtg vyšetření u těhotné pacientky. Od obecného doporučení, že rtg vyšetření je optimálnější přesunout do období těsně po proběhlé menstruaci, kdy pravděpodobnost ovulace a tím gravidity je menší (tzv. desetidenní pravidlo) se ustoupilo. Pravidlo se opíralo o biologickou představu, že se tím zabrání ozáření oplodněného vajíčka (zygoty), a že význam ozáření dalších vajíček ve folikulech vaječníků není třeba brát v úvahu. Tento názor byl korigován, když se moderními metodami zjistilo, že příprava vajíčka k ovulaci trvá několik týdnů, a že užití tohoto doporučení neplní účel, který mu byl přisuzován.

Důsledky ozáření závisí na období nitroděložního vývoje a na výši dávky. Při hodnocení ozáření je rozhodující doba, která uplynula od početí a výše absorbované dávky, resp. její odhad. Pro odhad dávky se u každého radiodiagnostického postupu zaznamenávají parametry vyšetření (povinnost vyplývající z paragrafu 73 písm. c)

zákona č. 373/2011 Sb., resp. z NRS). Za vlastní odhad ekvivalentní dávky v děloze pacientky (fetální dávky) je zodpovědný radiologický fyzik. Je povinností poskytovatele zdravotních služeb, jejichž součástí je LO, prostřednictvím zdravotnického pracovníka s touto odborností takový odhad zajistit. Zhodnocení rizika pro zárodek/plod ve vztahu k těhotenství by měl na základě odhadu a fáze těhotenství provádět lékař s odborností 208 – lékařský genetik.

Účinky ionizujícího záření na zárodek/plod dělíme, z hlediska vztahu dávka-účinek, na účinky deterministické (nově nazývaný jako tkáňová reakce) a stochastické, kterými je níže popsána kancerogeneze a účinky genetické.

Je-li vyšetření provedeno v preimplantační fázi gravidity (1. až 3. týden po početí), kdy je počet buněk malý a buňky ještě nejsou dostatečně diferencované, projeví se poškození těchto buněk neschopností implantace nebo zánikem oplozeného vajíčka nebo jsou poškozené buňky díky multiplalilitě nahrazeny. Platí princip „vše nebo nic“. Nejcitlivější k ozáření je zárodek v období tzv. velké organogeneze (4. až 8. týden po oplození). Může dojít k poškození CNS a jeho kosterního obalu, což se projeví zakrnělým vývojem mozku nebo oka (mikroftalmie, mikrocefalie), rozštěpy patra a dalšími malformacemi. V časném fetálním období (8. až 15. týden) je ohroženo vyzrávání CNS. Ozáření se projeví v dětství mentální retardací, snížením IQ. Od 10. týdne až do porodu je většina orgánů již formována a smrt skupiny buněk může vyvolat jen částečné orgánové poškození. Výjimkou je právě mozek, u kterého k migraci neuronů a formaci mozkové kůry dochází až do 15. týdne těhotenství.

Popisována je též vnímavost k indukci nádorových onemocnění (hlavně leukémií) v pozdním fetálním období. Účinky kancerogenní jsou svázány s poškozením DNA, změnou genetické informace. Mají charakter pravděpodobnostní, jejich výskyt se jen teoreticky zvyšuje úměrně (lineárně) s ob-

drženou dávkou. Nicméně spontánní výskyt nádorových onemocnění u dětí je velmi nízký (1:10 000). Epidemiologickými studiemi nebyl posud prokázán vyšší výskyt nádorů „plodů“ u žen ozářených v době těhotenství (ozáření „in utero“), ani účinek genetický. Smrt zárodku, vznik malformací a poškození mentálního vývoje jsou účinky prahové (reakce tkáň – deterministické účinky). U těchto účinků je mechanismem buněčná smrt, projeví se až po dosažení prahové dávky. Dle nejnovějších poznatků je prahová dávka na úrovni dávky 100 – 200 mGy, pro projevy mentální retardace se uvádí hodnota ještě vyšší (300 mGy). Takové dávky lze z rtg vyšetření jen stěží dosáhnout – viz tabulka fetálních dávek u těch vyšetření, kdy je děloha v oblasti vyšetřovaného zájmu.

Tabulka fetálních dávek

vyšetření	dávka na dělohu (mGy)
bederní páteř AP	0,9
bederní páteř LAT	1,2
břicho AP	1,1
pánev AP	2,1
tlusté střevo (irrigoskopie)	6,5
vylučovací urografie	9,5

Závěr

U plánovaného ozáření se posoudí, zda by nebylo možné k diagnostickým informacím potřebným pro léčbu dospět vyšetřením bez ozáření (ultrazvuk, magnetická rezonance).

Jestliže rozhodnutí o léčbě podmíněné rtg vyšetřením může být odloženo provede se až po porodu.

Jestliže je rtg vyšetření nutné pro stanovení diagnózy a odklad léčby by mohl poškodit matku nebo dítě nebo by mohl vést k zhoršení kvality života, není důvod vyšetření odkládat.

Toto platí bezvýhradně pro vyšetření „nízkodávková“ – mimo oblast dělohy – příkladem je rtg zubní vyšetření, vyšetření končetin, plic, aj. Dávku nemá význam u těchto vyšetření odhadovat, riziko pro plod je ve srovnání s jinými riziky těhotenství zanedbatelné.

V případech potvrzené dávky v děloze vyšší než 100 mSv je namístě konzultace s genetickou poradnou; lékař s odborností 208 – lékařský genetik nejlépe zváží případná další možná rizika konkrétního těhotenství.