

NÁVRH A OVĚŘENÍ STANDARDNÍCH POSTUPŮ PRO OPTIMALIZACI LÉKAŘSKÉHO OZÁŘENÍ PŘI INTERVENČNÍ RADIOLOGII V OBLASTI TEPEN PÁNVE A DOLNÍCH KONČETIN V ČESKÉ REPUBLICE

PROPOSAL AND VERIFICATION OF STANDARD PROCEDURES FOR THE OPTIMIZATION OF MEDICAL EXPOSURE OF PELVIC AND LOWER EXTREMITIES ARTERIES IN AN INTERVENTIONAL RADIOLOGY IN THE CZECH REPUBLIC

původní práce

Martina Nováková^{1,2}
Filip Cihlár²
Antonín Krajina³
Milouš Derner²

¹Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT, Praha

²Radiologické oddělení, Masarykova nemocnice o.z., Krajská zdravotní a.s., Ústí nad Labem

³Radiologická klinika LF a FN, Hradec Králové

Přijato: 16. 4. 2013.

Korespondenční adresa:

Ing. Mgr. Martina Nováková
Masarykova nemocnice,
Krajská zdravotní a.s.
Sociální péče 3316/12A
401 13 Ústí nad Labem
e-mail: novakovam@mnul.cz

Konflikt zájmů: Autoři neuvádějí žádný konflikt zájmů.

SOUHRN

Nováková M, Cihlár F, Krajina A, Derner M. Návrh a ověření standardních postupů pro optimalizaci lékařského ozáření při intervenční radiologii v oblasti tepen pánve a dolních končetin v České republice

Cíl. Cílem předkládané studie prováděné v České republice a podpořené Státním úřadem pro jadernou bezpečnost bylo navržení a ověření standardních postupů pro intervenční výkony na tepnách pánve a tepnách dolních končetin (cíleně pro perkutánní angioplastiky, PTA) které by vedly při aktivní spolupráci zdravotnického personálu k přijatelnému snížení radiační zátěže pacientů a vyšetřujícího personálu při zachování dostatečné diagnostické informace.

V tomto sdělení předkládáme pouze část této studie, která se zabývala intervenčními výkony na tepnách dolních končetin.

Metoda. V období leden až listopad 2011 byla na čtyřech pracovištích krajských a fakultních nemocnic zpracována data charakterizující dávky ionizujícího záření u nemocných s diagnostickými a intervenčními výkony na tepnách pánve a dolních končetin z tzv. exam protokolů. Jednotlivá pracoviště byla porovnávána a ta, která měla nadprůměrné dávky, byla o tom informována. Po úpravě jejich způsobu použití angiografického přístroje byly v dalším období červenec až prosinec 2011 opět dávky porovnány.

Výsledky. Po zavedení standardního postupu pro intervenční výkony na tepnách

SUMMARY

Nováková M, Cihlár F, Krajina A, Derner M. Proposal and verification of standard procedures for the optimization of medical exposure of pelvic and lower extremities arteries in an interventional radiology in the Czech Republic

Aim. The Purpose of this study, conducted in the Czech Republic and supported by the State Office for Nuclear Safety (SUJB), was to propose and verify a standard processes for interventional procedures on the pelvic and lower extremities arteries, specifically for percutaneous angioplasty, (PTA) which would lead, with the active cooperation of the medical staff, to an acceptable reduction of radiation exposure on patients and medical staff while maintaining sufficient diagnostic information.

In this communication, we present only a part of this study, which dealt with the intervention procedures on arteries of lower.

Method. In the period January–June 2011 were in four departments of regional and university hospitals processed data characterizing exposure to ionizing radiation in patients with diagnostic and intervention procedures on arteries of lower extremities from the exam protocols. Individual sites were compared, and those that had above-average dose was informed. After adjusting their way of using angiographic devices were in the next period July to December 2011 compared to dose again.

dolních končetin a jeho ověření ve II. sledovaném období byl průměrný skiaskopický čas 14,2 min na výkon, počet scén (skiagrafických obrazových záznamů) na jedno vyšetření byl zredukován na 16,2 a průměrná vstupní povrchová dávka (kerma) klesla na 144 mGy z původních 400 mGy v roce 2009–2010 a plošný dávkový (kermový) součin na 40,02 Gy cm^2 z původních 92 Gy cm^2 v roce 2009–2010.

Závěr. Za rok 2011 byla shromážděna požadovaná data z 311 vyšetření, což byl dostatečný statistický soubor pro ověření navrženého standardního postupu pro intervenční výkony na tepnách dolních končetin. Zavedení tohoto standardního postupu vedlo na všech sledovaných pracovištích k významnému snížení vstupní povrchové dávky a plošného dávkového součinu o cca 50 % (vyjma pracoviště referenčního) při dostatečné diagnostické i léčebné výtečnosti, což prokázalo jeho účelnost a efektivnost.

Klíčová slova: intervenční radiologie, perkutánní angioplastika, plošný dávkový součin (DAP), vstupní povrchová dávka (ESD).

Results. After the introduction of the standard procedure for interventional procedures on the lower extremities arteries, the average fluoroscopy time was reduced to 14.2 min. per procedure, the number of frames per examination was reduced to 16.2, the average entrance surface dose decreased to 144 mGy (400 mGy in years 2009–2010) and the dose area product decreased to 40.02 Gy cm^2 (92 Gy cm^2 in years 2009–2010).

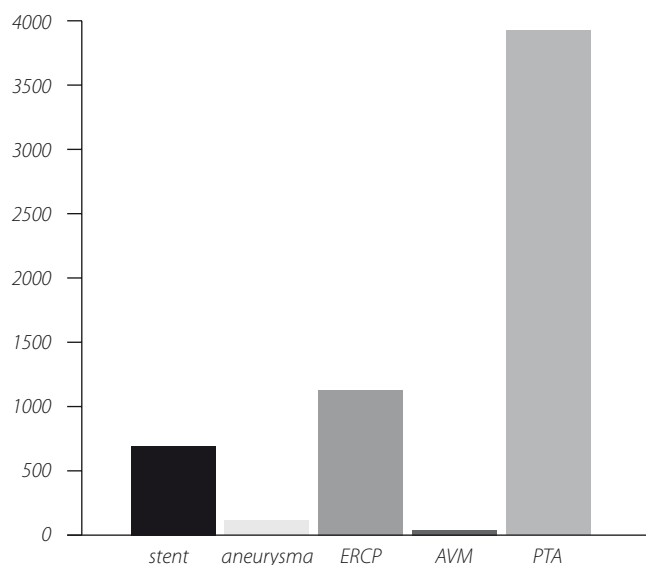
Conclusion. During 2011 the required data were collected from a total of 311 examinations. After the introduction of the standard procedure for interventional procedures on the lower extremities arteries to all monitored medical departments the reduction of the entrance surface dose and the dose area product by about 50% occurred, except for at the reference medical department.

Key words: Interventional radiology, percutaneous angioplasty (PTA), area dose product (DAP), entrance surface dose (ESD).

ÚVOD

Intervenční radiologie v České republice je velmi rozšířeným oborem s dlouhou historií. S rozvojem nových intervenčních metod a postupů roste i počet a délka intervenčních zákroků. Radiační zátěž, které je pacient a výkony provádějící personál vystaven, se tak i přes moderní přístrojové vybavení zvyšuje. Smyslem radiační ochrany je omezení dávky na nejnížší možnou úroveň, a to i v případě intervenčních léčebných aplikací. Z již dříve prováděných studií SÚJB vyplývá, že akumulovaná kožní dávka a plošný dávkový součin souvisí s celkovou délkou skiaskopického času, počtem a délkou scén a zvolených obrazů ve scéně (f/s), počtem pulzů/s, s používáním zvětšení obrazu (ZOOM), s použitím šikmých a poloaxiálních projekcí, s aktivním používáním clon během výkonu, s objemem vyšetřované (či léčené) oblasti, s průběhem prováděného výkonu a se zkušeností radiologa a dalšího zdravotnického personálu.

V první části studie byla sbírána data o charakteru a počtu intervenčních výkonů s vyšší radiační zátěží v České republice. Výstupem z těchto nasbíraných informací bylo zjištění, ve shodě s dostupnou literaturou, že nejčastějším intervenčním výkonem s vysokou radiační zátěží jsou perkutánní angioplastiky (graf 1). Toto vedlo k rozhodnutí vytvořit a ověřit standardní postupy nejprve pro intervence na pánevních tepnách a tepnách dolních končetin.



Graf 1. Počet intervenčních radiologických výkonů v České republice v roce 2009–2010

Graph 1. Number of interventional radiology performance in the Czech Republic in 2009–2010

METODIKA

Ve spolupráci se čtyřmi vybranými pracovišti intervenční radiologie používající přístroje stejného výrobce byl prováděn sběr dat za účelem ověření: pracovních postupů, použití ochranných pomůcek, dále přístrojového vybavení a využití programovatelných prostředků, jako jsou:

- **velikost ohniska**, většina moderních rentgenek má možnost volby dvou optických ohnisek, lze je volit manuálně nebo se mění automaticky dle požadovaného výkonu;
- **napětí na rentgence**, spolu s filtrací určuje nejen kvalitu rentgenového záření, ale významně ovlivňuje dávku, volba tohoto parametru souvisí s tělesnou konstitucí pacienta a s typem vyšetření;
- **filtry** zeslabující nízkoenergetickou složku spektra, záření je tak pronikavější, klesá dávka na kůži;
- **expoziční automatika** (automatic exposure kontrol, AEC), zajišťuje optimální nastavení expozice a její reprodukovatelnost, při skiaskopii řídí velikost kermového příkonu na receptor (zesilovač, plochý panel, CCD (Charge Coupled Devices));
- **počet pulzů/s** pro režim skiaskopie;
- **počet snímků/s** při skiagrafii – zobrazovací rychlost;
- režim zvětšení **ZOOM**, vyšší hodnota zvětšuje detaily obrazu za cenu navýšení dávky.

Na všech pracovištích byl také prováděn záznam vedoucí ke stanovení radiační zátěže pacientů na základě dávkových indexů, jako jsou:

- **vstupní dávka**, dávka měřená na určeném povrchu pacienta, ale bez přítomnosti pacienta [mGy];
- **povrchová dávka**, dávka měřená s tělem umístěným v dráze záření, kvůli rozptylu záření na povrchu a v hloubi těla se povrchová dávka liší od vstupní dávky o podíl rozptýleného záření [mGy];
- **dávkový příkon** představuje dávku naměřenou za určitý čas [Gy/s nebo mGy/s];
- **výstupní dávka** slouží k vyhodnocení rentgenového zobrazení, měří se v poli záření v bezprostřední blízkosti povrchu těla, kde svazek vystupuje z těla, na základě výstupní dávky a povrchové dávky můžeme vypočítat, kolik záření zůstalo v těle pacienta [Gy];
- **DAP** (Dose Area Product), součin dávky a plochy [$Gy\text{cm}^2$];
- **Kerma** představuje součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v určitém objemu látky. Za podmínky rovnováhy nabitých sekundárních částic se kerma rovná absorbované dávce. Pro fotonové RTG záření je podmínka rovnováhy

Tab. 1. Navržený standard PTA na dvou a více tepnách dolních končetin (referenční pracoviště)

Table 1. Proposed standard PTA on two more arteries of the lower extremities (reference department)

Celkový skiaskop. čas (min)	Počet p/s	Počet f/s	Počet scén	Součin kerry a plochy ($Gy\text{cm}^2$)
10–15,0	3–7,5	1–2	10–18,0	60–80

p/s – počet pulzů za sekundu, f/s – počet snímků (frame) za sekundu

nabitých částic (v tomto případě elektronů) splněna, je-li energie záření nižší než 3 MeV. V takovém případě lze veličinu „kerma“ nahradit dávkou.

Ve shodě s nejčastějším průběhem výkonů (výkony bez komplikací) byl navržen protokol, který byl na pěti pracovištích implementován do jejich léčebného protokolu jako standard (jedno pracoviště, podle kterého byl protokol navržen vzhledem k nejnižším dosaženým dávkám během intervenčních výkonů, sloužilo jako referenční) (tab. 1).

VÝSLEDKY

Za rok 2011 byly shromážděny údaje z celkem 311 výkonů, z toho 259 výkonů bylo nekomplikovaných, a byly tedy použity pro hodnocení standardu, 24 výkonů zahrnovalo léčebné aplikace na iliackých (pánevních) tepnách (AIE, AIC, AII), 18 výkonů bylo velmi komplikovaných; tyto výkony nebyly tedy použity při hodnocení navrhovaného standardu pro intervenční výkony na dolních končetinách.

Ze všech spolupracujících nemocnic byla sbírána data formou vyplnění tabulek (tab. 2), formou konzultací s lékařským i lékářským personálem přímo na pracovišti, další data byla shromážděna z protokolů (dose report, dicom info, examination report) ukládaných u jednotlivých vyšetření na konkrétních pracovištích.

Výsledkem tak byly přehledové tabulky, které jsou shrnuty v grafu 2, informující o průběhu intervenčních výkonů na jednotlivých pracovištích za rok 2011 s využitím navrženého standardního postupu, porovnávané s rokem 2009–2010 bez standardu (tab. 3).

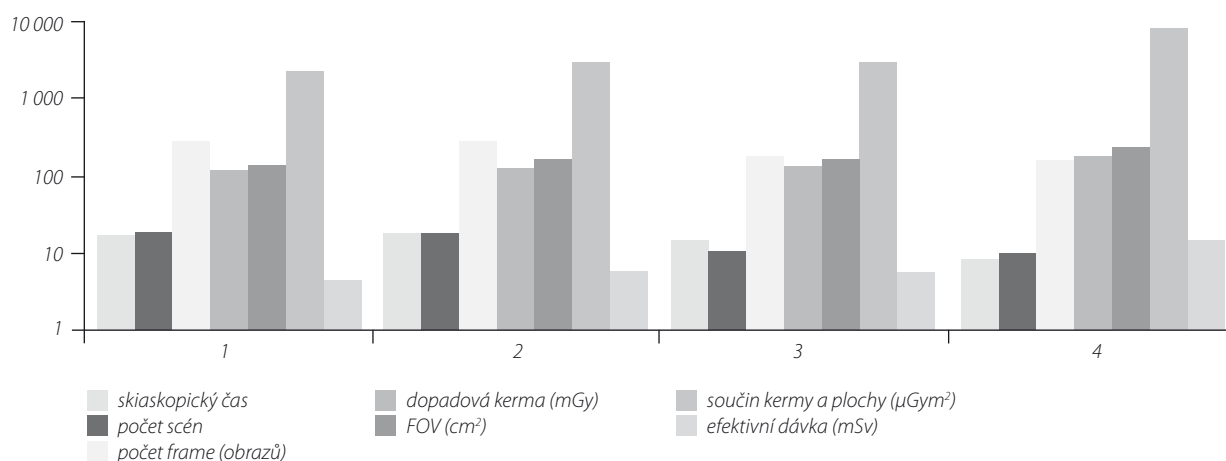
Předmětem zkoumání byla analýza rozsáhlého souboru dat ze čtyř monitorovaných pracovišť ze dvou sledovaných období: leden až květen a červen až listopad 2011. Ukázala např. průměrné skiaskopické časy (graf 3), kdy průměrná hodnota ze všech pracovišť byla 14,2 min na léčebný výkon (v roce 2009–2010 cca 11 min na výkon, k navýšení došlo v důsledku redukce počtu obrazových záznamů, tedy scéna byla nahraze-

Tab. 2. Záznamy z léčebného výkonu PTA na dolních končetinách

Table 2. Records of the treatment procedure PTA of the lower extremities

ID pacienta	Výška, váha	Celkový skiaskop. čas (min)	Počet p/s	Počet scén	Počet frame (obrazů)	Počet f/s	Vstupní povrchová kerma (mGy)	Součin kerry a plochy ($Gy\text{cm}^2$)	ZOOM	Akviziční
roviny										
souhrnné údaje	172/85	9,9		3	39		55,6	5,195		
1. scéna			3		12	2	21,1	1,818	40	0LAO
2. scéna			3		9	1	14	1,402	40	0LAO
3. scéna			3		18	1	20,5	1,975	40	21RAO

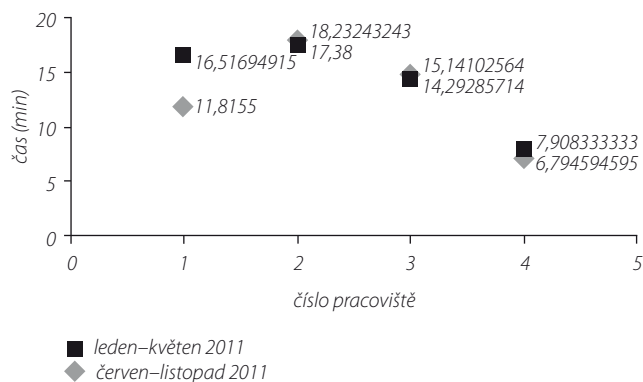
p/s – počet pulzů za sekundu, f/s – počet snímků (frame) za sekundu



Graf 2. Sledované parametry na pracovištích intervenční radiologie v roce 2011
Graph 2. Monitored parameters from of intervention radiology department in 2011

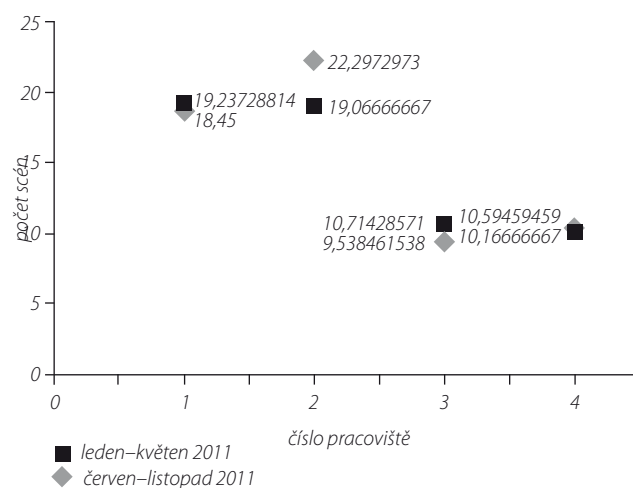
Tab. 3. Parametry intervenčních výkonů na dolních končetinách (2009–2010)
Table 3. Parameters of the intervention procedures of the lower extremities (2009–2010)

2009–2010 parametry vyšetření standardního pacienta 70 kg, výkon bez komplikací					
PTA	kV	mAs	celkový skia čas (min)	plošný dávkový součin (Gycm²)	vstupní povrchová dávka (mGy)
1	65–75	150–200	4,43	39,59	117
2	65–75	200–250	18,8	78,616	230
3	65–75	200–350	9,8	107,32	578,1
4	65–75	200–280	12,5	144,32	678,1



Graf 3. Skiaskopický čas dle zavedeného standardu
Graph 3. Fluoroscopy time according to the established standard

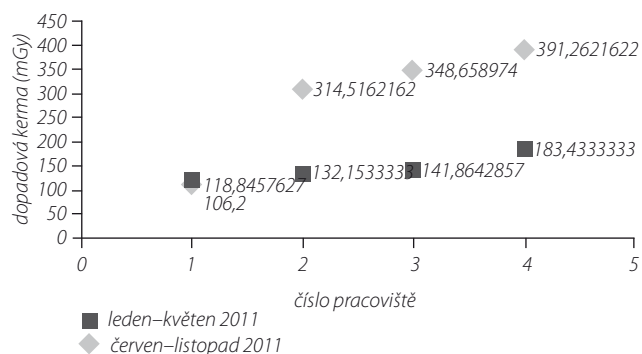
na skiaskopii, jejíž příspěvek k dávce je nižší, tento vyšší parametr byl tedy ve standardu akceptován), což splňuje požadavek navrženého standardu. Navržená frekvence pulzů pro skiaskopii pro nekomplikované výkony (3 p/s) nebyla dodržena častěji pouze na jednom pracovišti (toto konzultováno, pracoviště provedlo úpravu, bylo ověřeno ve druhém sledovacím období).



Graf 4. Průměrný počet scén dle standardu
Graph 4. The average number of scenes according to standard

Další ověřované parametry vedoucí významně ke zvyšování dávky pacienta i personálu byly parametry pro skiagrafiu, tedy počet scén (graf 4).

Průměrný počet scén ze všech pracovišť na jedno vyšetření byl 16,59, tedy splňoval požadavky standardního protokolu, i když dvě pracoviště tento požadavek překročily, což bylo konzultováno.



Graf 5. Průměrná vstupní povrchová (dopadová) kerma na jedno vyšetření
Graph 5. The average entrance surface dose at one examination

Další sledované veličiny pak byly dozimetrické údaje, tedy dopadová kerma (vstupní povrchová dávka) a plošný dávkový součin.

Údaje o dopadové kermě (graf 5) ukázaly významnou změnu po konzultacích na jednotlivých pracovištích při zavádění standardního protokolu a po následných úpravách při provedených kontrolách ve druhém sledovacím období.

Záznam plošného dávkového součinu z jednotlivých vyšetření a pracovišť (graf 6), poukázal zejména na pracoviště č. 4, kdy plošný dávkový součin výrazně přesahoval obvyklé hodnoty. V prvním sledovaném období tedy byla provedena analýza léčebného postupu a navrženy úpravy. Tyto úpravy byly částečně akceptovány, což se projevilo v následném sledovaném období.

Přestože výsledky plošného dávkového součinu z druhého sledovaného období splňovaly požadavek standardu, nebyly stále úplně uspokojivé (vzhledem k údajům z ostatních pracovišť). Byl tedy proveden výpočet ozáření plochy z jednotlivých vyšetření (graf 7).

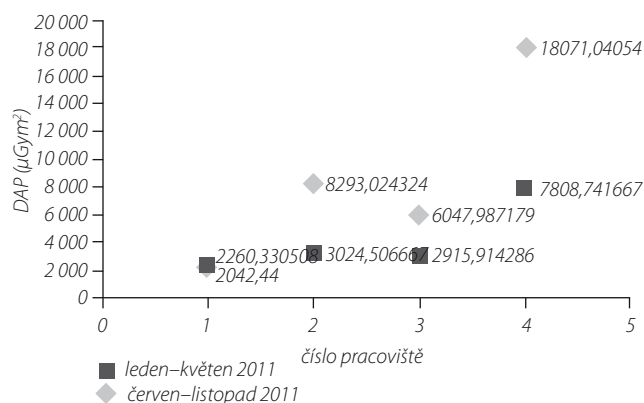
Tyto údaje pak vedly ke zjištění, že nejvýznamnějším příspěvkem k vyšší dávce na pracovišti č. 4 je příspěvek velikosti pole, který převyšuje ostatní pracoviště (průměrná velikost pole 161,5 cm²) o cca 50 %. Na tomto pracovišti byl pak zpřísněn dohled nad důsledným používáním clon.

Protože všechna pracoviště v závěru studie splnila požadavek vytvořeného standardu, bylo provedeno srovnání tohoto standardu s připravovaným standardem (*National Council on Radiation Protection and Measurements NCRP 2011*) pro intervenční radiologii (tab. 4), který byl předběžně umístěn na: http://www.emannetwork.eu/IMG/pdf/Synth_report_5_RP_optimization.pdf

Z této tabulky je zřejmé, že pokud bude tento návrh schválen, námi navržený standard pro endovaskulární výkony v oblasti pánve a končetin (PTA či stent) požadavky NCRP splní.

DISKUSE

Výsledky studie, zejména graf 2, ukázaly, že přestože pracoviště disponují různým přístrojovým vybavením (zesilovač obrazu, plochý panel) různého stáří, je možné výsledné dávky ovlivnit, a to významně již úpravou pracovních návyků, jako jsou frekvence obrazů ve scéně, počet scén a zejména velikosti ozáření

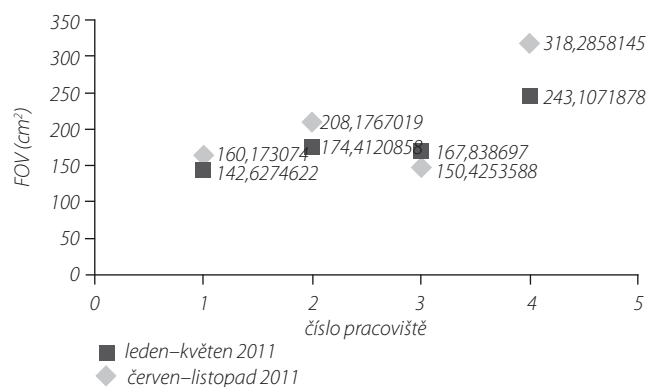


Graf 6. Průměrný plošný dávkový součin na jedno vyšetření
Graph 6. The average surface dose product for one examination

Tab. 4. Návrh doporučené hodnoty NCRP plošného dávkového součinu pro intervenční radiologii

Table 4. A proposal of ICRP recommended value of the dose area product for interventional radiology

léčebný výkon	DAP (Gy·cm ²)			celkový počet pacientů
	min.	průměr	max.	
biopsie, drenáž	1	43,2	150	872
TIPS	77	324,5	524	297
PTA	44,5	73,6	233,6	394
embolizace	30,6	273	560,4	1808
DSA	77,3	204,3	347,6	200
vertebroplastika	41	75,1	118,8	109
stent	18	166,3	344	539



Graf 7. Velikost ozáření plochy
Graph 7. Size of irradiated field

plochy (tedy důsledné používání clon, minimalizace užívání ZOOM), která je největším příspěvkem efektivní dávky, jež zvyšuje pravděpodobnost poškození pacienta, ale i personálu.

Ze studie, ve shodě s uvedenou literaturou, pak plyne řada doporučení pro lékařský personál:

- Používat skiagrafický (cine) mód pouze, když je to je nezbytně nutné, s co nejnižší frekvencí obrazů, co nejkratší, standardně je postačující frekvence 2–3 f/s.
- Častěji používat skiaskopický mód a funkci last image hold, dávka při skiagrafickém módu je vždy vyšší než dávka při

skiaskopickém módu, standardně je postačující nižší frekvence p/s (dle možností používaného zařízení, angiografické linky), v našem případě navrženy 3p/s pro skiaskopický mód bez komplikací, výjimečně vyšší.

- Používat „low dose“ mód, pokud je obraz dostatečně kvalitní, při použití ZOOM a high dose módu je dávka na pacientovi až 20krát vyšší.
- Používat správnou kolimaci, která zmenší objem prozařované tkáně, redukuje rozptýlené záření, čímž se zlepšuje kontrast obrazu a redukuje ozáření personálu.
- Používat malou vzdálenost kůže – detektor, jak je nejvíce možné, což vede ke snížení dávky na výstupu z pacienta, tedy i na vstupu do pacienta – **čím nižší dávka pacientovi, tím nižší dávka lékaři.**
- Používat všechny dostupné ochranné pomůcky. Ochranná zástěra a límec redukuje dávky lékařům až o 95 %, další redukce dávek je dosažena použitím ochranných brýlí, rukavic, závěsného stínění vedle stolu a stropního závěsu. Stropní ochranný závěs redukuje rozptýlené záření až na $\frac{1}{3}$.
- Pro začínající lékaře v oboru intervenční radiologie je vhodné absolvovat praktickou výuku na pracovištích, kde

se aktivně zabývají radiační ochranou, a dosahují tak nízkých dávkových úvazků.

ZÁVĚR

Z předložených výsledků studie je zřejmé, že zavádění navrženého standardu vede k aktivní spolupráci s lékaři i s nelékařským zdravotnickým personálem. Následná navržená analýza formou srovnávacích tabulek (vycházející z informací obsažených v dose report, dicom info, či examination report) tak umožňuje identifikovat případné chyby v nastavení jakéhokoli typu přístroje či v pracovních návycích.

Tato studie našla vhodný standard akceptovatelný lékařským personálem, který zároveň vedl k významnému snížení dávkové zátěže na všech spolupracujících pracovištích. Standard se tedy osvědčil a je připraven pro praktické využití i na jiných pracovištích.

Vzhledem k tomu, že tento standard splňuje podmínky připravovaného evropského standardu, byl předložen společnosti intervenční radiologie k posouzení možnosti jeho rozšíření na ostatní pracoviště.

LITERATURA

1. **Struelens L, Vanhavere F, Bosmans H, Van Loon R.** Effective doses in angiography and interventional radiology: calculation of conversion coefficients for angiography of the lower limbs. *B J Radiol* 2005; 78(926): 135–142.
2. **Vano E, Gonzalez L, Guibelalde E, Fernandez JM, Ten JJ.** Radiation exposure to staff in interventional and cardiac radiology. *Br J Radiol* 1998; 71(849): 954–960.
3. **IAEA Training Material on Radiation Protection in Diagnostic and Interventional Radiology,** http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/1_TrainingMaterial/Radiology.htm
4. **ICRP Publication.** Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann ICRP 2000, 6–51
5. **IAEA Publication.** Optimization of the radiological protection of patients undergoing radiography, fluoroscopy and computed tomography – IAEA 2004, IAEA-TECDOC-1423, 21–22.
6. **IAEA Publication.** Patient Dose Optimization in Fluoroscopically Guided Interventional Procedures – IAEA 2010, IAEA-TECDOC-1641, 11–86.
7. **IAEA Publication.** Quantitative Evaluation and Promotion of Patient Dose Optimization in Fluoroscopically Guided Interventional Procedures, IAEA-TECDOC-XXXX, IAEA, Vienna.