



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Studies

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta  
Ústav radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva

Bakalářská práce

# **Informovanost klientů na oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny o ionizujícím záření**

Vypracovala: Kateřina Brtnová  
Vedoucí práce: Ing. Eva Zemanová, Ph.D.

České Budějovice 2016

## Abstrakt

Název mé bakalářské práce je: „Informovanost klientů na oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny o ionizujícím záření.“

Práce je rozdělena na teoretickou a výzkumnou část. V úvodu je zmiňována stručná historie objevu ionizujícího záření, jehož objevitelem byl německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen. Jeho záření X (dnes nazýváno rentgenové záření) bylo prvním poznaným druhem ionizujícího záření.

**Teoretická část práce** se věnuje především pojmu ionizující záření, jeho zdrojům, interakcím a jeho biologickým účinkům. Při lékařském ozáření se rentgenovo záření využívá v radiodiagnostice, resp. povrchové radioterapii. Pro hloubkovou radioterapii jsou využívány zejména svazky elektronů o různých energiích, urychlených v lineárním urychlovači nebo  $\gamma$ -záření uzavřeného radionuklidového zářiče (brachyterapie). V neposlední řadě je využíváno otevřených radionuklidových zářičů pro diagnostické a terapeutické účely v nukleární medicíně.

Důležitou kapitolou teoretické části jsou biologické účinky ionizujícího záření (dále IZ), které dělíme na stochastické a deterministické. V souvislosti s biologickými účinky IZ byl zaveden systém radiační ochrany, který se zabývá ochranou radiačních pracovníků, klientů zdravotnického zařízení (pacientů), obyvatel a životního prostředí. Pro účely této práce je teoretická část věnována radiační ochraně zejména při lékařském ozáření. Současná legislativa pro radiační ochranu vymezuje jednak dávkové limity pro radiační pracovníky a obyvatele, jednak diagnostické referenční úrovně (jako směrné hodnoty) pro standardní typy rtg. vyšetření a to za účelem optimalizace RO klientů zdravotnického zařízení. Dále legislativa RO vymezuje kritéria pro klasifikaci zdrojů IZ a kritéria pro kategorizaci pracovišť, kde se vykonávají radiační činnosti a to podle míry ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením, resp. podle vybavení pracoviště. Kategorizování jsou i radiační pracovníci podle pravděpodobnosti překročení příslušných dávkových limitů. Teoretická část zpracovává i veličiny a jednotky používané v radiační ochraně a radiologické fyzice.

**Cílem této práce** je analyzovat rozdíly ve znalostech a informovanosti o problematice IZ u klientů před aplikací ionizujícího záření na oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny.

**Výzkumná část práce** byla zaměřena na zjištění, zda jsou znalosti a informovanost o IZ u dotazovaných klientů na oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny srovnatelné. Součástí práce je vytvořený dotazník zaměřený na informovanost klientů oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny o aplikovaném IZ a jeho účincích a hodnocení výsledků tohoto průzkumu.

Metodikou práce bylo zpracování anonymních dotazníků umístěných do čekáren oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Na každé z oddělení bylo umístěno 50 dotazníků. Výzkum probíhal na radiodiagnostickém oddělení (dále RDO) v Nemocnici Český Krumlov, a.s.; na onkologickém oddělení (radioterapie) v Nemocnici České Budějovice, a.s., a na oddělení nukleární medicíny (ONM) ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady.

Dotazovaní klienti – respondenti měli zodpovědět celkem 13 otázek. V každé otázce bylo možné zaškrtnout pouze jednu z nabízených variant odpovědí. Otázky 1-3 mají obecný charakter, zjištění pohlaví, věku a vzdělání. Zbýlých deset otázek je již zaměřeno na konkrétní problematiku. Bylo důležité zjistit, zda klienti všech oddělení mají alespoň představu o podstatě a účincích IZ. Zda získávají informace od personálu před vyšetřením a zda jsou postačující pro porozumění, Dále je předmětem zkoumání, zda a kolik pozornosti klienti věnují přečtení informovaného souhlasu a zda je pro ně jeho obsah srozumitelný

Výsledky všech 150 dotazníků byly zpracovány do tabulek a grafů. Pro každou otázku byla vytvořena tabulka a konkrétní vyhodnocení. Pro vizuální představu o výsledku byl vytvořen i graf, který výsledky sumarizuje.

Další část práce se věnuje diskuzi, ve které jsou diskutovány poznatky, ke kterým jsem ve své práci dospěla.

Poslední částí práce je závěr, který byl učiněn na základě teoretických znalostí uvedených v práci a realizovaného průzkumu. Po zvážení a zpracování všech výsledků jsem došla k závěru, že informovanost a vlastní zájem klientů o znalost účinků ionizujícího záření převažuje na odděleních radioterapeutických na odděleních nukleární medicíny, přičemž nižší povědomí a zájem se projevuje v oblasti rentgenového zobrazení. Povinnost personálu zdravotnického zařízení informovat klienty před aplikací IZ o jeho riziku a účinku však jednoznačně vyplývá z § 28 zákona 372/2011 Sb.: „Zdravotní služby lze pacientovi poskytnout pouze s jeho svobodným a informovaným souhlasem, nestanoví-li tento zákon jinak.“ Podrobnosti informovaného souhlasu pro případ lékařského ozáření jsou pak uvedeny v Národních radiologických standardech vydaných MZ ČR. Dobrá informovanost klientů zdravotnických zařízení o

prováděném vyšetření či léčbě pomocí IZ přispívá k možnosti jejich spolurozhodování o aplikaci IZ, resp. podporuje jejich spolupráci s personálem příslušného oddělení, kde je IZ používáno. Proto je žádoucí rozvíjet dostatečnou snahu o osvětu a informovanost klientů, a to nejen v oblasti lékařského ozáření IZ. Tato práce může přispět i ke vhledu kontrolních pracovníků např. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, resp. klinických auditorů do reálné situace týkající se plnění uvedených legislativních požadavků.

**Klíčová slova:** ionizující záření, radiační ochrana, radiodiagnostika, radioterapie, nukleární medicína, informovanost klienta zdravotnického zařízení.

## Abstract

The title of my bachelor thesis is: "Awareness of clients about the ionizing radiation in the department of radiodiagnostics, radiotherapy and nuclear medicine." The work is divided into the theoretical and research part. The introduction mentioned a brief history of the discovery of the ionizing radiation, the discoverer was a German physicist Wilhelm Röntgen. Its radiation X (now called X rays) was the first type of the ionizing radiation.

The theoretical part focuses primarily on the concept of the ionizing radiation, on its resources, interactions and its biological effects. X-rays are used in radiodiagnostics, respectively surface radiotherapy. For in-depth radiotherapy are mainly used electron beams of different energies, accelerated in a linear accelerator or  $\gamma$ -radiation sealed radionuclide source (brachytherapy). Finally, open radionuclide sources are used for diagnostic and therapeutic purposes in nuclear medicine.

An important field of the theoretical part are the biological effects of the ionizing radiation (hereinafter IZ), which are divided into the stochastic and the deterministic. In connection with the biological effects of the IZ was introduced Radiation Protection System, which deals with the protection of exposed workers, clients of the medical equipment (patient), population and the environment. For the purpose of this work, the theoretical part is devoted to the radiation protection, especially during medical irradiation. Current legislation for radiation protection delimits the dose limits for radiation workers and residents, diagnostic reference levels (as a guideline) for standard types of X-rays examination for the purpose of optimizing the RO client of medical facility. RO legislation further defines the criteria for the classification of radioactive sources and the criteria for categorizing workplaces where radiation activities are performed according to the degree of health danger and environmental ionizing radiation, respectively according to the workplace equipment. Categorizing are also exposed workers according to the probability of the respective dose limits. The theoretical part works with quantities and units used in the radiation protection and radiological physics.

The aim of this study is to analyze the differences in knowledge and awareness about IZ by clients prior to the application of ionizing radiation in the department of radiodiagnostics, radiotherapy and nuclear medicine.

The research part of the work was focused on finding if the knowledge and awareness of IZ by surveyed clients in the department of radiodiagnostics, radiotherapy and nuclear medicine is comparable. In this thesis, there is a questionnaire focused on

awareness in the department of radio diagnostics, radiotherapy and nuclear medicine on applied IT and its effects and on the evaluation of survey results.

The methodology of the study was to process anonymous questionnaires placed in waiting rooms in the department of radiodiagnostics, radiotherapy and nuclear medicine. 50 questionnaires were placed on each ward. The research took place in the Department of Radiology (hereinafter RDO) in Český Krumlov Hospital, a.s.; in the Oncology Department (radiotherapy) in České Budějovice Hospital, Inc., and in the Department of Nuclear Medicine (ONM) in Královské Vinohrady Hospital.

Respondents had to answer thirteen questions in total. In every issue was possible to select only one of the available choices. Questions 1-3 are general, finding out the sex, age and education. The remaining ten questions are focused on specific issues. It was important to find out whether the clients of all the departments have at least any idea about the nature and effects of IZ. Whether the clients get information from staff before the test and whether information are sufficient for understanding. The next step was to find out, how much attention clients pay by reading the informed consent and whether the content is understandable.

The results of 150 questionnaires were processed in tables and graphs. For each question was created a table and specific evaluation. For a visual idea of the result was also created a chart that summarizes the results.

Another part is devoted to a discussion, in which my findings are discussed. The results are compared with the literature.

The last part is the conclusion, which was made on the basis of theoretical knowledge in the work and implemented survey. After considering all results, I have come to a conclusion, that client's interest in ionizing radiation effects is most dominant in radiotherapist and nuclear medicine facilities. However, there is a lower interest in in x-ray facilities. The obligation of staff of medical equipment to inform clients before the application of IZ risk and its effect, however, is clear from § 28 of Act 372/2011 Coll.: "Health services can provide the patient with only their free and informed consent, unless stipulated otherwise by this Act." Details of informed consent for medical exposure are given in the national radiological standards issued by the Ministry of Health. Knowledgeable clients contributes to the possibility of co-decision on the application of IZ, respectively supports their cooperation with the staff of the relevant department, where IZ is used. Therefore, it is desirable to develop a sufficient effort to educate and inform clients, not only in the field of medical radiation IZ.

This work may also contribute to the insight of control staff eg. of The State Office for Nuclear Safety, respectively of the clinical auditors to the real situation concerning the implementation of those legislative requirements.

**Keywords:** ionizing radiation, radiation protection, radiology, radiotherapy, nuclear medicine, awareness of the client's medical facility

## **Prohlášení**

### Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 17. srpna 2016

.....

(Kateřina Brtnová)



### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala zejména vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Zemanová, Ph.D. za metodické vedení práce, cenné rady a připomínky. Dále bych ráda poděkovala zaměstnancům radiodiagnostického oddělení Nemocnice Český Krumlov, a.s.; onkologického oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s., a oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady za pomoc při vyplňování dotazníků.

## Obsah

Seznam použitých zkratek .....	12
Úvod .....	14
1 Teoretická část .....	16
1.1 Ionizující záření .....	16
1.1.1 Radionuklidové zdroje záření $\alpha$ , $\beta$ a $\gamma$ .....	17
1.1.2 Radionuklidové zdroje neutronů .....	17
1.1.3 Rentgenové záření .....	18
1.2 Veličiny a jednotky .....	23
1.2.1 Ochrana před vnějším ozářením .....	24
1.2.2 Ochrana před vnitřním ozářením .....	25
1.3 Radiační monitorování .....	25
1.4 Radiační ochrana na pracovištích .....	28
1.4.1 Radiační nehody a havárie .....	30
1.5 Biologické účinky ionizujícího záření .....	32
1.5.1 Účinky záření na celulární systém .....	33
1.5.2 Chromosomové aberace .....	34
1.5.3 Účinek záření na buňku .....	34
1.5.4 Patogenetické mechanismy záření .....	35
1.5.5 Stochastické účinky .....	35
1.5.6 Deterministické účinky .....	35
1.6 Akutní nemoc z ozářením .....	38
1.7 Principy radiační ochrany .....	39
1.7.1 Legislativa v oblasti radiační ochrany: Infrastruktura RO .....	42
1.8 Ionizující záření v medicíně .....	46
1.8.1 Radiační ochrana v radiodiagnostice .....	46
1.8.2 Radiační ochrana v radioterapii .....	50
1.8.3 Způsoby radioterapie .....	56
1.8.4 Radiační ochrana v nukleární medicíně .....	58

2	Praktická část .....	64
2.1	Cíl práce .....	64
2.2	Výzkumná otázka .....	64
3	Metodika .....	65
3.1	Postup práce .....	65
3.2	Dotazník .....	65
4	Výsledky .....	66
4.1	Otázka č. 1: Zastoupení pohlaví .....	66
4.2	Otázka č. 2: Zastoupení věkových kategorií .....	67
4.3	Otázka č. 3: Nejvyšší dosažené vzdělání klientů .....	69
4.4	Otázka č. 4: Četnost vyšetření .....	70
4.5	Otázka č. 5: Víte, že je ionizující záření škodlivé? .....	72
4.6	Otázka č. 6: Na vyšetření jste byl(a) poslán(a): .....	73
4.7	Otázka č. 7: Zjišťovali jste si informace o ionizujícím záření? .....	74
4.8	Otázka č. 8: Víte, co znamená tento znak? .....	75
4.9	Otázka č. 9: Víte, že existuje kontrolované pásmo? .....	77
4.10	Otázka č. 10: Byly Vám nabídnuty i jiné možnosti vyšetření? .....	78
4.11	Otázka č. 11: Byl Vám vysvětlen průběh vyšetření? .....	79
4.12	Otázka č. 12: Četli jste si informovaný souhlas? .....	80
4.13	Otázka č. 13: Pokud jste v předchozí otázce odpověděli ANO - bylo to pro Vás srozumitelné? .....	81
5	Diskuze .....	82
6	Závěr .....	85
7	Seznam informačních zdrojů .....	87
8	Přílohy .....	91
	Seznam obrázků .....	97
	Seznam tabulek .....	97
	Seznam grafů .....	98

## Seznam použitých zkratek

IZ	ionizující záření
RO	radiační ochrana
DRO	radiodiagnostické oddělení
RTO	radioterapeutické oddělení
ONM	oddělení nukleární medicíny
a.s.	akciová společnost
Sb.	sbírka zákona
MZ	ministerstvo zdravotnictví
ČR	Česká Republika
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu)
IBSS	International Basic Safety Standarts (Mazinárodní základní standard ochrany před zevním zářením a bezpečnosti zdrojů záření)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro jadernou energii)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
např.	například
keV	kiloelektronvolt
RTG záření	rentgenové záření
CP	centrální paprsek
Al	chemická značka hliníku
Cu	chemická značka mědi
DNA	deoxyribonukleová kyselina
CNS	centrální nervový systém
ANO	akutní nemoc z ozáření
GIT	gastrointestinální trakt
w <sub>T</sub>	tkáňový váhový faktor

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
H <sub>T</sub>	ekvivalentní dávka
cm <sup>2</sup>	centimetr čtvereční
mm	milimetr
Hp	osobní dávkový ekvivalent v hloubce tkáně
dávk. ekvivalent	dávkový ekvivalent
Sv, mSv	sievert, milisievert
Bq, kBq, MBq, GBq	becquerel, kilobecquerel, megabecquerel, gigabecquerel
Gy	Gray
J	Jaul
kg	kilogram
s	sekunda
min	minuta
h	hodina
CT	výpočetní tomografie (Computed Tomography)
MLC	multileaf collimator
IMRT	Intensity-modulated radiation therapy
BRT	brachyterapie
DRÚ	diagnostická referenční úroveň
tzv.	takzvaný
ŠŽ	štítná žláza
SŠ	stření škola
Bc.	bakalář
Mgr.	magistr
Ing.	inženýr
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie (Single-Photon Emission Computed Tomography)
I – MIBG	metaiodobenzylguanidin
<sup>18</sup> F – FDG	2-fluor-2-deoxy-D-glukóza
<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	pertechnát, technecistan

## Úvod

Významnou událostí se roku 1895 stal objev rentgenového záření, který byl nejprve znám jako paprsek X. Jeho objevitelem byl německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen. K objevení došlo při pokusech s katodovými trubicemi ve fyzikálním ústavu ve Würzburgu v Německu. Rentgenové záření se stalo obrovským přínosem pro oblast fyziky i medicíny. V medicíně začaly další rozsáhlé objevy pod vedením mnoha odborníků, kteří umožnili rozvoj oboru radiodiagnostika. Rentgenka se stala součástí vybavení mnoha laboratoří i ordinací. Ve formě zdokonalené roku 1913 W. D. Coolingem je patrně dodnes nejrozšířenějším zdrojem ionizujícího záření. Při používání lékařských rentgenů se tvořily i první poznatky o účincích IZ a o potřebě radiační ochrany [1].

Na osobách, které dlouhodobě pracovaly s ionizujícím zářením, byly pozorovány škodlivé účinky IZ. Díky těmto nežádoucím účinkům musela být zavedena pravidla a postupy pro aplikující odborníky, které umožňovaly „bezpečné“ používání zdrojů IZ, v rámci znalostí o IZ, které byly v dané době dostupné. S vývojem poznatků o tzv. deterministických účincích a stochastických (pravděpodobných) účincích se vyvíjel i obor radiační ochrana a legislativa, která principy RO, povinnosti a podmínky pro bezpečné nakládání se zdroji IZ stanovuje.

S postupným vývojem radiologie bylo dále nutné dostatečně vzdělávat a kvalifikovat personál, který přichází do styku s ionizujícím zářením. Byl tedy zaveden nelékařský obor - radiologický asistent, jehož absolventi pracují na odděleních radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny [2]. Prováděcím předpisem MZ ČR, konkrétně vyhláškou č. 99/2012 Sb., k zákonu 373/2011 Sb., o specifických zdravotnických službách, jsou stanoveny požadavky na personální zabezpečení diagnostické a léčebné péče v oborech radiologie a zobrazovací metody, dětská radiologie, intervenční radiologie, neuroradiologie, nukleární medicína a radiační onkologie. Vyhláška č. 55/2011 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků, pak stanovuje odpovědnosti a kompetence těchto odborníků

v rámci lékařského ozáření. Zároveň jsou zákonem č. 96/2004 Sb., ve smyslu vyhlášky č. 39/2005, ve znění 3/2016 Sb. stanoveny požadavky na získání odborné způsobilosti k výkonu zdravotnického povolání radiologického asistenta, resp. radiologického fyzika a ostatních odborníků zajišťující radiační ochranu při lékařském ozáření. Tato odbornost se získává absolvováním akreditovaného studijního programu.

Vzhledem k vývoji zobrazovací a léčebné techniky využívající IZ je v současné době legislativa upravující podmínky a povinnosti při používání zdrojů IZ na vyspělé úrovni. Právní předpisy v ČR implementují většinu evropských doporučení, respektují ICRP, BSS, Euratom a IAEA. V současné době je v platnosti zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, ve znění pozdějších předpisů (Atomový zákon, dále jen AZ). 1.1. 2017 nabyde účinnosti nový Atomový zákon č. 263/2016 Sb., následovat budou jeho prováděcí předpisy, primárně vyhláška o radiační ochraně. Dosud je v platnosti vyhl. č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů. Legislativa a Doporučení SÚJB (tzv. „modrá řada“) ve spojení s legislativou Ministerstva zdravotnictví je východiskem pro dostatečné zajištění radiační ochrany ve zdravotnických zařízeních, kde se používají zdroje IZ pro lékařské účely. SÚJB jako státní kontrolní a licenční orgán pak dohlíží na plnění zákonných požadavků a MZ akredituje právnické osoby k provádění nezávislých tzv. externích klinických auditů na těchto pracovištích.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Ionizující záření

Ionizující záření (dále IZ) se rozumí přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln vlnové délky nižší nebo rovnající se 100 nm s frekvencí vyšší nebo rovnající se  $3 \times 10^{15}$  Hz, který je schopen vytvářet ionty.

### Zdroje záření dělíme na:

#### Přírodní:

- kosmické záření
- terestérální záření, přírodní radionuklidy ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{40}\text{K}$ ).

#### Umělé:

- radionuklidové zdroje
- generátory záření (rentgenky, urychlovače)
- jaderný reaktor.

### Přírodní radioaktivní nuklidy

V přírodě dochází k rozsáhlému vytváření zdrojů IZ. Kosmická tělesa jsou zdroji obrovských toků částic a to v podobě kosmické záření, které je schopno v podobě různých částic vstoupit do zemské atmosféry.

Zemská kůra a atmosféra obsahuje velké množství přírodních radionuklidů např.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$  a  $^3\text{H}$ . Jejich měrná aktivita je však tak nízká, že nejsou považovány za radioaktivní zářiče. Doplnit radon vznikající alfa rozpadem radia – ten má z hlediska RO významu.

Prvním objeveným druhem pocházející z generátoru záření je záření X, dnes nazýváno rentgenové záření. Dále byly objeveny radionuklidové zdroje  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a zdroje neutronů.



### 1.1.1 Radionuklidové zdroje záření $\alpha$ , $\beta$ a $\gamma$

Jako nuklid je označován druh atomů, které mají stejný počet protonů a stejný počet neutronů. Všechny nuklidy můžeme rozdělit do dvou skupin:

- Stabilní – s nekonečnou dobou života
- Nestabilní – podléhající samovolné změně ve složení nebo energetickém stavu, tj. radioaktivní přeměně. O těch hovoříme jako o radionuklidech.

**Alfa záření** je rozpad atomového jádra, při kterém jádro emituje jádro hélia (alfa částici).

#### **Beta plus záření:**

Jádro emituje pozitron (elektron s kladným nábojem). Elektron se v atomovém jádře ale nenachází, proto předchází  $\beta^+$  rozpadu přeměna protonu v jádře na neutron, **pozitron** a neutrino.

#### **Beta minus záření:**

Jádro emituje elektron, který vzniká přeměnou neutronu v jádře na proton, elektron a antineutrino.

**Gama záření** je elektromagnetické záření (vlnění) s velmi malou vlnovou délkou ( $10^{-11}$  -  $10^{-13}$  m). Vzniká při jaderných reakcích nebo radioaktivním rozpadu, přechodem jádra z vyššího do nižšího energetického stavu, přičemž se jádro zbavuje své excitační energie.

### 1.1.2 Radionuklidové zdroje neutronů

Neutrony jsou elementární částice bez elektrického náboje a nachází se v atomovém jádře (mají zhruba stejnou hmotnost jako protony).

Neutronové záření vzniká při jaderných reakcích spontánním štěpením atomů. Důležitou charakteristikou neutronů, která určuje jejich chování, je jejich energie.

Principem vzniku neutronů je bombardování bórového terčíku částicemi  $\alpha$  z radionuklidového zdroje.

Přednosti radionuklidových zdrojů:

- Malé rozměry a snadná transportovatelnost
- Relativně nízká cena
- Dobře definovaná emise neutronů
- Minimální nároky na kontrolu a údržbu

Jejich zápor:

- Nízká dosažitelnost emisí neutronů ze zdroje
- Pro řadu účelů nepřiliš vhodné široké spojitě energetické spektrum

Neutrony patří mezi částice běžně emitované při radioaktivní přeměně.

Dvě výjimky:

1. Emise zpožděných neutronů v přeměnových řadách některých radionuklidů
2. Proces spontánního štěpení těžkých jader – značný význam. Kromě spontánního štěpení lze získat neutrony i jadernými reakcemi.

Nejdůležitějším procesem při interakci částice  $\alpha$  jsou ztráty energie při průchodu látkou ionizací a excitací atomů. Jen malá část pronikne do atomových jader a vyvolá tam jadernou reakci. Z toho také vyplývají nízké výtěžky těchto zdrojů, jen několik desítek až set neutronů na  $10^6$  primárních částic  $\alpha$ .

Směs radionuklidu emitující záření  $\alpha$  s terčovým materiálem je uzavřena v uzavřeném, nejčastěji válcovém pouzdře z nerezivějící oceli, u větších zdrojů pro zvýšení bezpečnosti dvojitěm.

### 1.1.3 Rentgenové záření

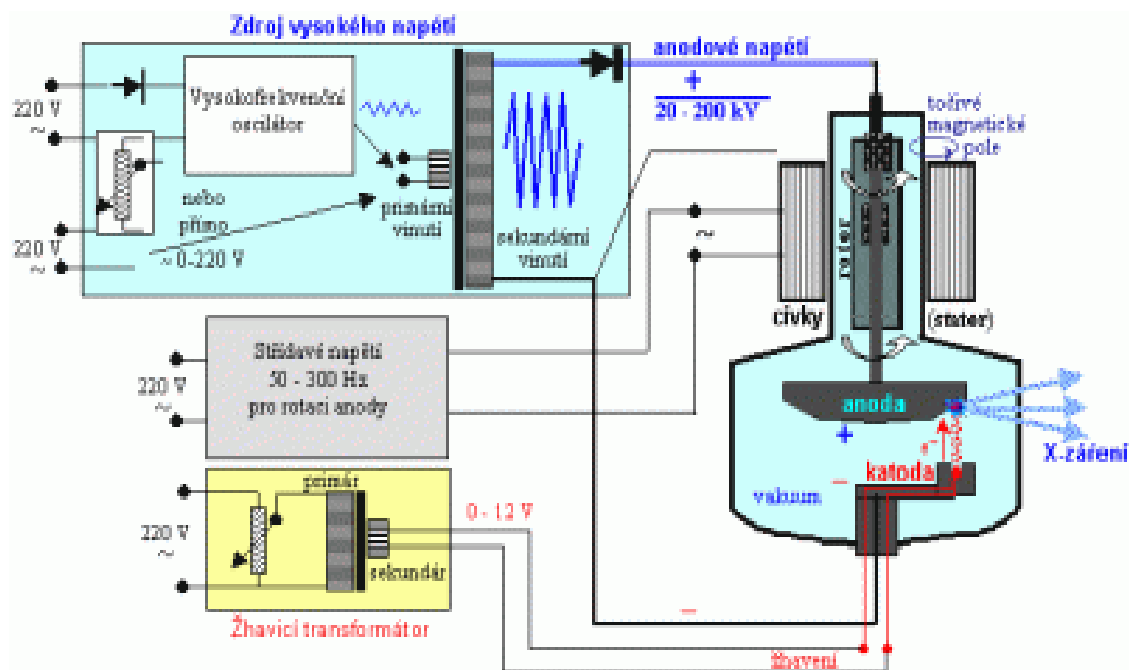
RTG záření je generováno v rtg. trubici s vakuem obsahující katodu a anodu, mezi kterou je vysoký potenciálový spád. Elektrony jsou emitovány z katody, nejčastěji měděné, která je žhavana zpravidla wolframovým vláknem. Vysoký potenciálový spád urychluje emitované elektrony k anodovému terčíku, v němž vzniká brzdné a charakteristické záření. Energie elektronů dopadajících na terčík je přímo úměrná napětí rentgence.

- Brzdné záření vzniká zabrzděním elektronů, sníží se jejich kinetická energie. Nezávisí na materiálu terčíku (anody), ale jen na původní kinetické energii elektronů dané napětím mezi anodou a katodou). Má spojité energetické spektrum.
- Charakteristické záření vzniká přechodem elektronů v atomovém obalu. Elektron dopadá na anodu, může za určitých podmínek vyrazit elektron z elektronové nižšího elektronového orbitu na vyšší energetickou hladinu - exciace Uvolněné místo se zaplní elektronem z vyššího orbitu – deexcitace a přebytek energie se vyzáří ve formě charakteristického rentgenova záření. To má čárové spektrum, jeho energie závisí na druhu materiálu anody a rovná se rozdílu dvou energetických hladin při deexcitaci elektronu.

Proud elektronů závisí na materiálu, teplotě a ploše povrchu katody. Na produkci fotonového záření se spotřebuje jen malá část energie nesené elektrony dopadajícími na terčík. Zbývající energie se absorbuje v terčíku a přemění na teplo. Anoda musí být intenzivně ochlazována vodou, vzduchem nebo rotací. Při rotaci dochází neustále ke změnám místa dopadu elektronového svazku, jinak by došlo k přehřátí rentgenky [1].

### **Rentgenka**

Jedná se o speciální vakuovou trubici, která obsahuje dvě elektrody (anodu a katodu), do kterých proudí zdroj napětí. Anody jsou vyráběny nejčastěji z wolframu, někdy též z molybdenu. Celá rentgenka je uložena v krytu, který mimo jiné slouží jako ochrana před poškozením nebo jako elektrická izolace a také napomáhá k odstínění RTG záření v nežádoucích směrech. V krytu jsou dále uloženy kabely vysokého napětí a olej, který slouží k ochlazování rentgenky [3].



Obrázek 1: schéma znázornění rentgenky

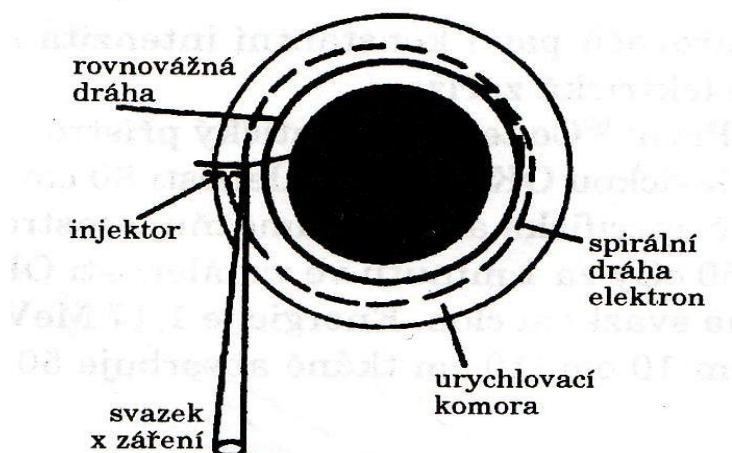
Zdroj: [http://www.rentgenmedikal.cz/informace\\_o\\_x\\_ray\\_.html](http://www.rentgenmedikal.cz/informace_o_x_ray_.html)

### Kruhové urychlovače

U urychlovačů určených speciálně pro generování rtg. záření bývá terčík umístěn uvnitř urychlovací trubice, je ovšem také možné vedení elektronového svazku z urychlovací komory a jeho přímé využití.

#### a) Betatron

Jde o cyklický urychlovač, který urychluje elektrony pomocí změn magnetického pole na kruhové dráze. Obsahuje vakuovou trubici se žhavenou katodou, která je umístěna mezi pole střídavých magnetů. Elektron je urychlen ve vakuu střídavým proudem v primárních cívkách po kruhové dráze. Využívá se jako zdroj záporně nabitých částic [4].



Obrázek 2: schéma betatronu

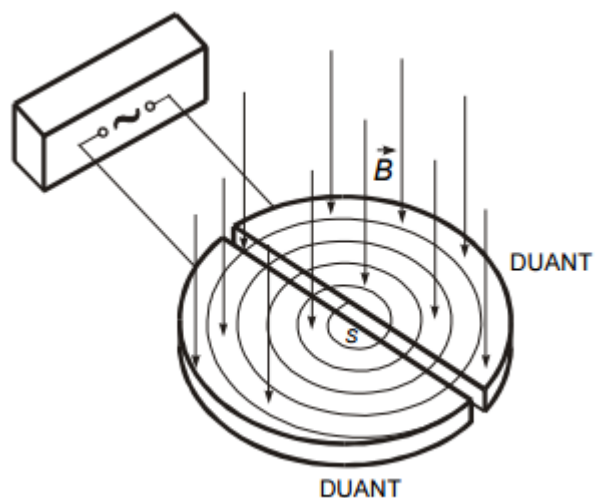
Zdroj: SPURNÝ, Vladimír, Pavel ŠLAPA, 1999, s. 74

### b) Cyklotron

Cyklotron je složen ze dvou elektrod (tzv. duanty)  $D_1$  a  $D_2$  ve tvaru dutých polovin válce, umístěných v homogenním magnetickém poli, které slouží jako urychlovací mezera. Prostor je ohraničen dvěma póly elektromagnetu, které jsou zapojeny na vysokofrekvenční generátor střídavého napětí.

Lze ho využívat jako zdroj kladně nabitých částic. Jednou z hlavních výhod je využití přesně definované dávky. Lze ho využívat i u hluboko umístěných nádorů, protože energetické maximum je až na konci svazku [5].

Jediný cyklotron v republice je umístěn v Protonovém centru na Bulovce. (<http://www.ptc.cz/protonove-centrum/technologie-a-diagnostika/cyklotron/>)



Obrázek 3: schéma cyklotronu

Zdroj:

[http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/elmag/6\\_3](http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/elmag/6_3)

### Lineární urychlovače

Je využíván jako zdroj nabitých částic, zejména elektronů různých energií, ale i svazků X. Částice jsou urychlovány za pomoci vysokofrekvenčních elektromagnetických vln s vysokou energií v lineární trubici. Lineární urychlovač je nejvíce využívaným přístrojem v radioterapeutické léčbě [4].

### Generátor krátkodobých nuklidů

Jejich využití je především ve zdroji gama záření. Vytvářejí radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu, které se používají při označování radiofarmak. Jejich principem je přeměna mateřského prvku s dlouhým poločasem rozpadu na dceřiný prvek s krátkým poločasem rozpadu. Nejvíce využívaným generátorem je molybden-techneciový generátor [5].

## **Jaderný reaktor**

Je používán jako zdroj neutronového záření. Za pomoci neutronového záření vzniká mnoho radioaktivních izotopů, které jsou velmi důležité v radiodiagnostice a radioterapii [5].

## **1.2 Veličiny a jednotky**

### **Absorbovaná dávka D**

Je to podíl střední energie sdělené ionizujícím zářením v objemovém elementu a hmotnosti látky obsažené v tomto objemovém elementu.

Jednotka:  $J \cdot kg^{-1}$ , Gy - Grey

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

### **Dávkový příkon**

Vyjadřuje obdrženu dávku v daném místě ozařovanou látkou za jednotku času.

Jednotkou je  $Gy \cdot s^{-1}$  [1].

### **Dávkový ekvivalent H**

Součin absorbované dávky v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q vyjadřujícího rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření [6].

Jednotka Sv (sievert).

$$H = D \cdot Q$$

### **Ekvivalentní dávka $H_T$**

Součin radiačního váhového faktoru  $w_R$  uvedeného záření a střední absorbované dávky  $D_{T,R}$  v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření R, nebo součet takových součinů, jestliže pole ionizujícího záření je složeno z více druhů nebo energií [7].

Jednotkou je Sv ( $J \cdot kg^{-1}$ ).

$$H_T = \sum W_R \cdot D_{TR}$$

### Efektivní dávka E

Součet součinů tkáňových váhových faktorů  $w_T$  uvedených v tabulce č. 2 přílohy č. 5 a ekvivalentní dávky  $H_T$  v ozářených tkáních nebo orgánech T [8].

Jednotkou je Sievert (Sv).

$$E = \sum H_T \cdot w_T$$

Sečteme-li všechny tkáňové váhové faktory příslušných orgánů a tkání výsledek musí být roven 1,0. Znamená to tedy, že tkáňové váhové faktory vyjadřují podíl jednotlivých orgánů a tkání při celkovém vzniku stochastických účinků při celotělovém ozáření.

**Tabulka 1: doporučené radiační váhové faktory dle ICRP Publikace 103 [9]**

Tkáň	$w_T$	$\Sigma w_T$
kostní dřev (červená), tlusté střevo, plíce, žaludek, mléčná žláza, zbytek tkání*	<b>0,12</b>	<b>0,72</b>
Gonády	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>
močový měchýř, jícn, játra, štítná žláza	<b>0,04</b>	<b>0,16</b>
povrch kostí, mozek, slinné žlázy, kůže	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>
Celkem		<b>1,00</b>

*\*zbytek tkání: nadledvinky, horní cesty dýchací, žlučník, srdce, ledviny, lymfatické uzliny, svalstvo, sliznice dutiny ústní, slinivka, prostata, tenké střevo, slezina, brzlík, děloha/hrdlo*

#### 1.2.1 Ochrana před vnějším ozářením

Opatření redukující individuální zevní ozáření z daného zdroje vychází ze tří základních principů.



## **Čas**

Účinky záření jsou úměrné dávce, pole je charakterizováno příkonovými veličinami. Násobek redukce doby ozáření se proto rovná i násobku redukce dávky.

## **Vzdálenost**

Snížení příkonových veličin je přímo úměrné čtverci vzdálenosti.

## **Stínění**

Výpočet, měření hodnoty veličiny radiačního pole bez stínění a dále stanovení takové její hodnoty, která má být stíněním dosažena v zájmovém prostoru.

Dále pak nastává poměr těchto hodnot, tj. násobek či koeficient zeslabení stínění.

### **1.2.2 Ochrana před vnitřním ozářením**

Vnitřním ozářením se rozumí situace, kdy je živý organismus ozařován IZ, vysílaném radionuklidu, přítomnými v organismu. Může se tedy jednat o vnitřní kontaminaci, vzniklou po příjmu umělých nebo přírodních radionuklidů v organismu.

Lékařské vnitřní ozáření vzniká při použití radioaktivních látek, které jsou do organismu aplikovány buď z důvodu diagnostických, terapeutických nebo paliativních. Pro diagnostické účely se používá radionuklidů s krátkým poločasem rozpadu, aplikovaných v takové chemické formě, aby došlo k co největší kumulaci v orgánu či tkáni, které jsou předmětem zájmu a mají být zobrazeny či sledovány v čase jejich funkce.

### **1.3 Radiační monitorování**

Radiačním monitorováním se rozumí splnění požadavků limitování ozáření osob, prokazování optimalizace RO, jakož i zajištění dalších požadavků na bezpečný provoz pracovišť se zdroji IZ, zejména včasného zajištění odchylek od normálního provozu [1].

#### **Náležitosti programu monitorování**

Program monitorování má v závislosti na druzích monitorování, tyto části

a) monitorování pracoviště,

- b) osobní monitorování,
- c) monitorování výpustí,
- d) monitorování okolí.

Program monitorování stanoví pravidla monitorování pro běžný provoz, předvídatelné odchylky od běžného provozu, radiační nehody a radiační havárie.

Program monitorování musí obsahovat

- a) vymezení monitorovaných veličin, způsob, rozsah a frekvence měření a způsob zaznamenávání a dobu uchovávání výsledků měření,
- b) postupy vyhodnocování výsledků měření,
- c) hodnoty monitorovacích úrovní a opatření při jejich překročení,
- d) hodnoty dávkových optimalizačních mezí
- e) specifikaci metod měření,
- f) specifikace místa na těle radiačního pracovníka, na němž je umístěn osobní dozimetr specifikaci používaných typů měřicích přístrojů a pomůcek a jejich parametrů.

Program monitorování musí být formulován tak, aby v něm uvedené postupy umožňovaly ověření dodržování limitů ozáření, prokazování, že radiační ochrana je optimalizována, a včasné zjištění odchylek od běžného provozu [10].

Program monitorování popisuje monitorování osob, které podle vnitřního havarijního plánu na pracovišti zasahují při radiační nehodě a radiační havárii.

### **Program monitorování pracovišť**

Monitorováním pracovního prostředí se získávají podklady pro posouzení optimalizace radiační ochrany na daném pracovišti a ověřuje se, zda pracovní podmínky i nadále odpovídají podmínkám vydaného povolení a nakládání se zdroji IZ [1].

### **System osobního monitorování**

Osobní monitorování radiačních pracovníků slouží k určení jejich osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením zevního i vnitřního ozáření jednotlivých pracovníků.

Osobní monitorování zevního ozáření osobními dozimetry se zajišťuje pro všechny pracovníky kategorie A. Pro pracovníky kategorie A je období pro vyhodnocování osobního dozimetru 1 kalendářní měsíc.

Osobní dozimetr se nosí na přední levé straně hrudníku. Při používání ochranné stínící zástěry se nosí vně zástěry.

Osobní dozimetr musí měřit všechny druhy záření podílející se na zevním ozáření radiačního pracovníka. Když tuto podmínku nesplní jeden dozimetr, radiační pracovník se vybavuje dalšími dozimetry, pokud není v programu monitorování stanoven jiný způsob monitorování [11].

### **Kategorizace radiačních pracovníků**

Podle míry ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením se zdroje ionizujícího záření klasifikují jako nevýznamné, drobné, jednoduché, významné a velmi významné a pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti, se zařazují do I., II., III. nebo IV. kategorie a radiační pracovníci se zařazují do kategorie A (dále jen "pracovníci kategorie A") nebo B (dále jen "pracovníci kategorie B"). Prováděcí právní předpis stanoví podrobnosti k rozdělení zdrojů ionizujícího záření, včetně zprošťovacích úrovní, zařazení radiačních pracovníků a zařazení pracoviště do kategorie [12].

Pro účely monitorování a lékařského dohledu se radiační pracovníci podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách a odchylkách od běžného provozu, s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo havárie.

Pracovníky kategorie A jsou radiační pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny stanoveného v § 20 odst. 1 písm. c) až e); ostatní radiační pracovníci jsou pracovníky kategorie B [13].

### **Referenční úrovně**

Hrají významnou úlohu v programu monitorování. Jsou to limitované hodnoty, nebo z nich přímo odvozené měřitelné veličiny RO, na základě kterých se posuzuje úroveň zajištění požadavků RO při nakládání se zdroji IZ, na pracovišti s těmito zdroji, či při činnostech vedoucích k ozáření.

### **Osobního monitorování vnějšího ozáření**

Monitorování zevní ozáření osob se provádí osobními dozimetry a také na základě údajů monitorů pracovního prostředí [1].

Osobní monitorování stanovuje dávkový ekvivalent Hp (10) v hloubce tkáně 10 mm pod povrchem těla, u pronikavého záření (např. gama) a povrchového dávkového ekvivalentu Hp (0,07) v hloubce 0,07 mm kůže (méně pronikavé záření beta). Oční čočce odpovídá osobní dávkový ekvivalent Hp (3) v hloubce 3 mm.

U pracovníků pracujících s IZ se musí Hp (10) dále přepočítat na efektivní dávku. Ta určuje pravděpodobnost vzniku stochastických účinků [14, 15].

## **1.4 Radiační ochrana na pracovištích**

### **Vybavení pracoviště**

Bezpečnost provozu zdrojů ionizujícího záření a pracovišť s nimi, a radiační ochrana pracovníků se zajišťuje vždy vybavením pracoviště přístroji, zařízeními a pomůckami v množství a kvalitě dostatečné k zabezpečení všech měření uvedených v programu monitorování, ve vnitřním havarijním plánu, v programu zabezpečování jakosti a k zabezpečení všech měření prováděných v rámci zkoušek provozní stálosti, případně v podmínkách povolení k nakládání stanovených Úřadem, a jejich udržování v řádném technickém stavu [16].

### **Kategorizace ZIZ a pracovišť**

Pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti, se kromě pracovišť, kde se používají výhradně nevýznamné nebo typově schválené drobné zdroje ionizujícího

záření, kategorizují vzestupně podle ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením na pracoviště I., II., III. a IV. kategorie [17].

### **Kontrolované pásmo**

Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo kde by ekvivalentní dávka mohla být vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny stanoveného v § 20 odst. 1 písm. c) až e) vyhlášky č. 307/2002 Sb.

Kontrolované pásmo se vymezuje jako ucelená a jednoznačně určená část pracoviště, zpravidla stavebně oddělená, a s takovým zajištěním, aby do ní nemohly vstoupit nepovolané osoby. Na vchodech nebo ohraničení se kontrolované pásmo označuje znakem radiačního nebezpečí a upozorněním "Kontrolované pásmo se zdroji ionizujícího záření, vstup nepovolaným osobám zakázán", případně i údaji o charakteru zdrojů a rizik s nimi spojených.

Do kontrolovaného pásma nesmí vstupovat těhotné ženy a osoby mladší 18 let, kromě pacientů, kteří se na těchto pracovištích mají podrobit lékařskému ozáření, a kromě osob, které na těchto pracovištích pracují nebo se připravují na výkon povolání se zdroji ionizujícího záření.

K výkonu práce v kontrolovaných pásmech se zařazují jen pracovníci kategorie A. Ostatní osoby mohou v kontrolovaném pásmu pracovat nebo pobývat jen v případě, že provozovatel kontrolovaného pásma zajistí takové podmínky, že jejich ozáření nepřekročí obecné limity.

Pro pobyt v kontrolovaném pásmu se každý vybavuje ochrannými pracovními pomůckami přiměřenými způsobu své činnosti nebo důvodům svého pobytu v tomto pásmu [18].

### **Sledované pásmo**

Sledované pásmo se vymezuje všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než jedna

desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny stanoveného v § 20 odst. 1 písm. c) až e) vyhlášky č. 307/2002 Sb.

Sledované pásmo se zpravidla vymezuje na všech pracovištích I. až IV. kategorie. Sledované pásmo se nevymezuje, pokud by jeho rozsah nepřesáhl vymezení kontrolovaného pásma [19].

#### **1.4.1 Radiační nehody a havárie**

Radiační nehody jsou definované vyhláškou č. 318/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 2/2004 Sb., o podrobnostech zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření, a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu.

Neplánové ozáření či únik radioaktivních látek je mimořádná situace.

##### **Radiační nehoda**

Jedná se o událost, která má za následek nepřipustné uvolnění radioaktivních látek nebo IZ nebo nepřipustné ozáření osob. Důsledky se zpravidla omezují na prostory pracovišť se zdroji IZ.

##### **Radiační havárie**

Jde o radiační nehodu, která vyžaduje opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí. Důsledky ovlivňují široké okolí zejména únikem radioaktivních látek do životního prostředí.

##### **Radiační mimořádná situace**

Následuje po RH nebo po takové RN, nebo po zjištění zvýšené úrovně radioaktivity nebo ozáření, které vyžadují naléhavá opatření na ochranu fyzických osob. (§ 2 18/1997) [20].

## **Mimořádná událost**

Událost důležitá z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, která vede nebo může vést k nepřipustnému uvolnění radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do ŽP, případně ke vzniku RN nebo RH a tím i ke vzniku radiační mimořádné situace [21].

### **1. stupeň**

Vede nebo může vést k nepřipustnému uvolnění RL do prostor zařízení nebo pracovišť. Může být RN, má omezený lokální charakter. K řešení jsou dostačující síly a prostředky obsluhy nebo pracovní směny. Při přepravě nedojde k úniku RL do ŽP.

Oznámení SÚJB nejpozději do 24 hod od zjištění.

### **2. stupeň**

Vede nebo může vést k nepřipustnému závažnému ozáření zaměstnanců nebo uvolnění RL do ŽP. Nevyžaduje zavádění opatření k ochraně obyvatelstva a ŽP. Je to RN, řešení vyžaduje aktivaci zasahujících osob držitele povolení. Ke zvládnutí jsou postačující síly a prostředky držitele povolení (event. smluvně zajištěné).

Oznámení SÚJB nejpozději do 4 hod od zjištění, bez odkladu.

Pokud dojde k uvolnění radioaktivní látky do životního prostředí, pak do 4 hod oznámit místně příslušnému Krajskému úřadu prostřednictvím operačního střediska Hasičského záchranného sboru kraje.

### **3. stupeň**

Vede nebo může vést k nepřipustnému závažnému uvolnění RL do ŽP. Vyžaduje zavedení neodkladných opatření k ochraně obyvatelstva a ŽP, stanovená ve Vnějších havarijním plánu a havarijním plánu kraje. Je to RH, řešení vyžaduje aktivaci zasahujících osob držitele povolení a dotčených orgánů dle Vnějšího HP a HP kraje.

Oznámení SÚJB bezodkladně po zjištění.

Odezva na radiační nehodu či havárii je v podstatě totožná s odezvou na jakoukoliv nehodu vyvolanou rizikovými materiály. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že IZ není vnímatelné lidskými smysly. Proto musí být opatření připravena a prováděna tak, aby

bylo možné stanovit potencionální riziko ozáření a informovat pracovníky havarijní odezvy a veřejnost o nejvhodnějším postupu [22].

**Odezva má tři základní cíle:**

- 1) Provést přímo u zdroje havárie opatření zaměřená na zmírnění následků či snížení potencionálního rizika.
- 2) Zajistit, aby lidé neobdrželi dávky vedoucí k onemocnění, či dokonce úmrtí v důsledku ozáření v období několika týdnů až měsíců po havárii (vyvolání deterministických účinků).
- 3) Provést jakoukoliv rozumnou akci ke snížení pravděpodobnosti vyvolání zhoubného bujení (stochastických účinků) v důsledku ozáření.

**Průběh radiační havárie se často dělí do tří fází:**

- 1) Předúniková fáze – může trvat několik hodin až dnů. Většinou se jedná o dostupné informace o možném radionuklidovém složení úniku a jeho velikosti a o pravděpodobnosti vývoje havárie a jejích následcích.
- 2) Úniková fáze – rovněž se pohybuje v rozmezí hodin až dnů. Rozhodnutí o povaze a rozsahu ochranných opatření závisí na výsledcích monitorování.
- 3) Poúniková fáze – pohybuje se v časovém rozmezí týdnů až roků. Očekává se již poměrně úplný přehled o radiační situaci v dotčených oblastech [1].

## **1.5 Biologické účinky ionizujícího záření**

Absorpce záření ve hmotě má kvantový charakter.

Lineární přenos energie částic (linear energy transfer, LET) udává množství energie předané hmotě na jednotku délky stopy částic.

Stopa částice je tvořena ionizacemi a excitacemi, které jsou produkovány jednak přímo částicí samotnou a jednak tzv.  $\delta$ -elektrony.



### **Nepřímé účinky záření**

Biologické systémy obvykle obsahují vysoké procento vody a značná část energie záření se proto absorbuje ve vodě. Radiolýzou vody vznikají vysoce reaktivní produkty, tyto produkty mohou vyvolat další (sekundární) reakce s biologickými molekulami.

### **Přímé účinky záření**

Energie záření je přenesena bezprostředně na biologickou molekulu.

#### **1.5.1 Účinky záření na celulární systém**

Nejdůležitější biologickou molekulou je buňka DNA, v které je obsažena základní informace o struktuře a funkci buňky. Navíc je v molekule DNA obsažena základní informace o struktuře a funkci organismu jako celku. DNA obsahuje informaci o struktuře bílkovin, která je zapsána pomocí genetického kódu vyjádřeného trojicí (tripletu) nukleotidů. V tripletech se střídají 4 nukleotidy: cytidin (C), guanosin (G), adenosin (A) a thymidin (T). Každý triplet kóduje jednu aminokyselinu, které jsou základními komponenty bílkovin. Řetězec DNA je dvojitý, spirálovitě stočený a jednotlivé nuklidy si jednoznačně odpovídají.

Při ozáření buňky dochází k poškození i jiných molekul

V eukaryotních buňkách je informace obsažená v DNA rozdělená do několika molekul, které jsou uspořádány do chromosomů. Chromosomy se nacházejí v jádře buňky, kde je lze pod mikroskopem (na rozdíl od DNA) pozorovat a sledovat jejich poškození.

#### **Radiační poškození DNA**

IZ produkuje ve velké míře zlomy v DNA, které jsou velmi různorodé: kromě jednoduchých (singl strand breaks, SSB) a dvojitých zlomů (double strand break, DSB) dochází také k poškození bazí. Často vznikají tato poškození dohromady s jednoduchými nebo dvojitými zlomy.

Není podstatný poměr jednotlivých druhů poškození bezprostředně po ozáření, ale spíše po ukončení reparačních procesů. Poškození na jednom řetězci DNA se poměrně

snadno s vysokou spolehlivostí reparují s využitím komplementární informace na řetězci druhém.

Dvojitě zlomy DNA představují pro buňku závažná poškození, která mohou vést ke vzniku genových mutací (změně genetického kódu DNA) a na cytogenetické úrovni ke vzniku chromosomových aberací.

### **1.5.2 Chromosomové aberace**

Chromosomové aberace jsou považovány za hlavní příčinu letálního účinku záření. Tyto aberace vedou ve většině případů k zániku buňky. Frekvence vzniku chromosomových aberací závisí nelineárně na dávce.

### **1.5.3 Účinek záření na buňku**

Zlomy DNA a následně chromozomální aberace jsou většinou neslučitelné s životními funkcemi buňky. Nejčastěji dochází k zániku buňky při pokusu o dělení, kdy neproběhne zdárně separace chromosomů do dceřiných buněk. Zůstane tedy jedna buňka, která následně zahyne. Některé typy aberací zachovávají v buňce prakticky všechny geny ve funkčním stavu (s výjimkou místa zlomu). Takové buňky se pak mohou dále dělit, i když jejich vlastnosti mohou být pozměněné. Buňky s pozměněnými vlastnostmi jsou nebezpečné pro organismus, neboť mohou vést k nádorovému bujení.

### **Apoptóza**

Programová smrt buňky je zřejmě určitou ochranou organismu před nádorovým bujením, neboť podmětem k apoptóze je určitý typ poškození DNA. Jestliže buňka nedokáže opravit vzniklé poškození, stává se pro organismus rizikovou a je vhodnější tuto buňku nahradit doplněním ze zdravé populace, dochází tedy k jejímu sebezničení.

### **Reparace radiačních poškození**

Pod pojmem reparace se však obvykle myslí biochemický proces spojený s činností reparačních enzymů. Reparace vede ke snížení biologického účinku záření. Ve svém důsledku se vždy jedná o reparaci určitého typu poškození DNA.

Reparace může mít různou rychlost podle typu poškození [1].

Buňky jsou schopny určitá poškození enzymaticky opravit. Pokud nedojde k velkému ozáření najednou, ale naopak je-li dávka rozdělena do několika menších dávek s časovými prodlevami mezi ozářeními. Tento proces se především využívá v radioterapii, kdy jsou frakcionovány malé dávky ozáření [23].

Poškození buňky je tím závažnější, čím má buňka větší schopnost k rozmnožování a je-li málo diferovaná. Proto jsou organismy velice radiosenzitivní na počátku vývoje [1].

#### **1.5.4 Patogenetické mechanismy záření**

Lidský organismus prochází různými fázemi svého růstu a vývoje, během kterých se může odezva na ozáření měnit.

Ozáření působí buď zánik buňky, nebo změni cytogenetickou informaci při zachování schopnosti dalšího buněčného dělení.

Smrt buňky je třeba chápat jako neschopnost buňky projít opakovanými mitózami a může být interpretována jako zvláštní případ cytogenetického poškození.

Pro komparativní posuzování účinků IZ na biologické systémy je zaveden pojem radiosenzitivita. Pokud se mluví o radiosenzitivitě jednotlivých tkání lidského těla, myslí se tím zpravidla vnímavost k vyvolání akutních klinicky významných důsledků.

#### **1.5.5 Stochastické účinky**

Se stoupající dávkou stoupá pravděpodobnost vzniku poškození.

Stochastické účinky vycházejí z bezprahového a lineární vztahu mezi dávkou a účinkem. Každé zvýšení dávky je spojeno s úměrným zvýšením pravděpodobnosti pozdních změn vázaných na ozářenou tkáň nebo orgán a tato závislost platí i pro oblast dávek nejnižších.

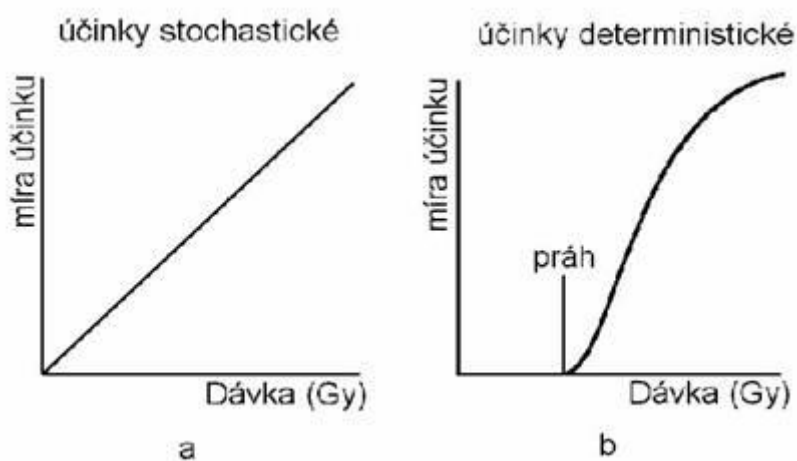
#### **1.5.6 Deterministické účinky**

Při dosažení určité dávky IZ efekt zákonitě nastává.

Klinické projevy jsou velmi rozmanité v závislosti na geometrii ozáření v různých částech těla, tedy v různých tkáních a orgánech či jiných částech, a to kvantitativně v různé míře v závislosti na dávce a její prostorové distribuci. Pokud je dávka rozložena na delší časový interval, uplatňují se vedle toho ještě reparační mechanismy.

Existence reparačních mechanismů je důvodem toho, že vzhledem k deterministickým účinkům nelze dávky rozložené do delšího časového období prostě spočítat. Vychází-li se z představy, že vztah dávky a účinku je v zásadě lineárně- kvadratický, potom dávky vyvolávající deterministický efekt spadají do oblasti, kde se výrazně uplatňuje kvadratická složka. Je to oblast, kde se závažnou měrou podílí mechanismus produkce duálních lézí. Časová prodleva mezi frakcemi může vést k opravě sublézí a přežívající buňky se vrací k podmínkám před ozářením.

Pro deterministické účinky je charakteristická prahová závislost na dávce. Kvantitativní ukazatel, pomocí něhož lze odhadnout možné následky ozáření, je prahová dávka pro daný účinek, popř. hodnota 50% efektivity vztažená ke zvolené referenční době po ozáření. Důležitým rysem této skupiny účinků je měnící se klinický obraz se stoupající dávkou, jinak řečeno, intenzita projevů a jejich zdravotní závažnost je závislá na dávce.



Obrázek 4: grafické vyjádření stochastických (a) a deterministických účinků (b)

Zdroj: ZÖLZER, Friedo, Pavel KUNA, Leoš NAVRÁTIL, 2007, s. 12

## **Jiná poškození deterministického typu:**

### Akutní poškození kůže

Je to nejčastější typ poškození při nehodách se zdroji zevního záření. Odezva kožního orgánu je závislá nejen na velikosti dávky, ale významně i na druhu záření, energii částic, velikosti pole a lokalizace terčové oblasti.

- Erymatózní dermatitis – nejlehčí forma akutního poškození kůže charakterizována zarudnutím.
- Deskvamativní dermatitis (druhý stupeň) – vzniká po ozáření dávkami vyššími, okolo 12 – 20 Gy.
- Nefrotická forma dermatidy – důsledek poškození hlubších vrstev kůže, popř. Podkoží. Je zpravidla důsledkem cévních změn a komplikující infekce, kdy příslušný okresek tkáně odumírá, odlučuje se a vytváří vřed.

### **Poškození zárodečného epitelu**

Sterilizační účinek IZ na mužské a ženské pohlavní žlázy je třeba hodnotit odděleně. Muži jsou z hlediska vyvolání poruch fertility IZ vnímavější než ženy.

### **Pozdní projevy poškození**

- Chronická radiační dermatitida – při předpokládané celkové lokální dávce alespoň 30 – 50 Gy.
- Zákal oční čočky (katarakta) – ke vzniku dochází po dlouhé latenci mezi ozářeními a rozvojem změn. Oční čočka je velmi citlivá na ozáření. Při jednorázovém ozáření IZ činí prahová dávka asi 1,5 – 2 Gy. Doba latence činí alespoň 6 měsíců.
- Jizevnaté a degenerativní změny – po ozáření velkými dávkami [1].

### **Účinky záření na vývoj zárodku a plodu**

- Nejrizikovější je pro poškození plodu v prvním trimestru těhotenství, kdy může docházet ke vzniku malformace, také by však mohlo dojít k uhynutí zárodku. V tomto období dochází k největšímu vývoji dítěte, zvláště citlivá

je pak CNS, její poškození by mohlo vést k deformitám postihujících mozek, míchu, oko, často pak bývá poškozena kostra a močový trakt.

- Ve třetím trimestru je plod relativně rezistentní. Dávka by musela být fatální, aby došlo k poškození. Mohou se však objevit poškození v pozdním věku, ale také by mohlo dojít ke genetickému přenosu [24].

## 1.6 Akutní nemoc z ozáření

Akutní nemoc z ozáření vzniká typicky po jednorázovém celotělovém ozáření vyšší dávkou pronikavého záření 0,7 Gy.

Klinický obraz ANO závisí na velikosti celotělové dávky s rostoucí dávkou, převládají nejprve příznaky podmíněné poruchou krvevorných orgánů, při vyšších dávkách příznaky z oblasti gastrointestinálního traktu a konečně důsledky poruch centrálního nervového systému.

### Rozeznáváme tři základní formy poškození:

1. Hematologická (dřeňová) forma – hraniční příznaky se mohou projevit už při dávkách 1 – 2 Gy, typičtější jsou však dávky 3 – 4 Gy. Probíhá v několika fázích:

**Prodromální fáze** – nástup několik minut po ozáření až do 48 hodin. Příznaky mohou být gastrointestinální (nechutenství, nevolnost, zvracení, průjem, salivace, dehydratace organismu) nebo neuromuskulárními (únava, apatie, pocení, bolest hlavy, pokles krevního tlaku zvýšená teplota).

**Latentní fáze** – bez klinických příznaků, doba trvání závislá na dávce záření.

**Manifestní fáze** – dochází k úplnému rozvoji nemoci, charakterizován výrazným zhoršením celkového stavu. Projevuje se např. horečkami, krvácení ze sliznic, popř. kožní projevy krvácivosti.

**Rekonvalescence** – pokud celotělová dávka záření není příliš vysoká, nastupují po 6 – 8 týdnech, známky pomalého postupného zlepšování zdravotního stavu.

2. Gastrointestinální forma – po dávkách kolem 10 Gy, kdy rozvinuté příznaky nastupují od 4. dne, při dávkách 6 – 10 Gy od 7. dne. Příznaky spočívají

v krutých průjmech provázených ztrátou tekutin a minerálním rozvratem, krvácením ze střev.

3. Neuropsychická forma – velmi ojedinělá [1].

## **1.7 Principy radiační ochrany**

Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, musí dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout.

Každý, kdo provádí činnosti související s využíváním jaderné energie nebo radiační činnosti, je povinen postupovat tak, aby byla přednostně zajišťována jaderná bezpečnost a radiační ochrana [25].

Cílem radiační ochrany je zabezpečit dostatečnou úroveň ochrany zdraví a umožnit přitom přínos z využití zdrojů záření a jaderné energie.

RO se řídí těmito základními principy: zdůvodnění činností vedoucích k ozáření, optimalizace radiační ochrany, dodržení obecných dávkových limitů a zabezpečení ZIZ.

### **Princip zdůvodnění**

Hlavním důvodem využití IZ musí být odůvodněno jeho přínosem nad riziky, které s ozářením souvisejí.

K dennímu rozhodování o zdůvodněnosti tzv. lékařského ozáření dochází ve zdravotnictví při indikaci radiodiagnostické nebo radioterapeutické aplikaci IZ za účelem vyšetření nebo léčení pacienta.

### **Princip optimalizace**

Cílem RO je zajistit, aby velikost individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření tam, kde není prakticky jisté, že k němu dojde, byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních hledisek (princip ALARA – as low as reasonably achievable).

Za provozu jsou změny ve stupni radiační ochrany uskutečnitelné volbou počtu a kvalifikace osob, organizací práce, použitím nestavebních komponent ochrany, úpravou monitorování. Optimalizace RO za provozu je tedy prováděna zejména na základě odborného odhadu a zkušeností bez použití přesných kvantitativních metod, opírá se o rozbor výsledků monitorování ve vztahu k prováděným operacím se zdroji.

Cílem optimalizace je nalézt stupeň ochrany, při němž další vynakládání prostředků již není kompenzováno rovnocennou úsporou újm.

Rozumně dosažitelná úroveň RO se považuje za dostatečně prokázanou, pokud ani za předvídatelných odchylek od běžného provozu nemůže být žádná z uvedených směrných hodnot překročena, a to ani u jedné osoby.

Optimalizace má vést k zjištění, jaké ozáření je přijatelné daných podmínkách, musí se tedy v každém případě nacházet v oblasti dávek pod obecnými limity individuálních dávek.

Pro optimalizaci ochrany při lékařském ozáření se k dosažení co nejnižších dávek kompatibilních s cílem lékařského vyšetření nestanoví závazné meze ze stejných důvodů, ze kterých neplatí pro toto ozáření dávkové limity, tj., aby nebyla omezována lékařská rozhodnutí ve prospěch zdraví nemocného. Jsou však na místě určitá doporučení hodnot dávek. Obecně však možno konstatovat, že novou legislativou byly u nás vytvořeny základní podmínky pro plnou aplikaci optimalizace jako základního přístupu RO k dosažení co nejnižších dávek, přiměřených objektivním možnostem a potřebám.

### **Princip limitování**

Stanovení limitů ekvivalentní dávky má vztah k ochraně proti deterministickým účinkům, zajišťuje jejich úplné vyloučení, spočívá v zamezení dosažení prahových dávek pro jednotlivé tkáně a orgány. Stanovení limitů efektivní dávky je vztaženo k omezení rizika stochastických účinků. Vyhláška č. 307/2002 rozlišuje několik druhů základních limitů jako kvantitativních ukazatelů, jejichž překročení není podle AZ přípustné, a dále odvozené limity, omezující stejné případy jako základní limity pro pracovníky, ale vyjádřené v prakticky měřitelných veličinách.



Každý kdo provádí ozařování osob, je povinen omezit záření tak, aby celkové ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity [19].

### **Limity ozáření – jedná se o kvantitativní ukazatele**

**Tabulka 2: základní limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb.**

	ZL pro pracovníky se ZIZ		ZL pro učně a studenty	ZL obecné
	za 5 za sebou jdoucích roků	za kalendářní rok	za kalendářní rok	za kalendářní rok
Efektivní dávka	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
Ekvivalentní dávka v oční čočce	-	<b>150</b>	<b>50</b>	<b>15</b>
Ekvivalentní dávka v 1cm <sup>2</sup> kůže za kalendářní rok	-	<b>500</b>	<b>150</b>	<b>50</b>
Ekvivalentní dávka v končetinách za kalendářní rok	-	<b>500</b>	<b>150</b>	

1) odvozené limity:

- pro zevní ozáření – pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm hodnota 500 mSv/rok a 10 mm hodnota 20 mSv/rok,
- pro vnitřní ozáření pro příjem radionuklidů.

2) zvláštní limity:

- ozáření osob, které pečují o nemocné vystavené lékařskému ozáření,
- ozáření plodu,

- ozáření kojence,
- ozáření radiačních pracovníků při jednorázových, krátkodobých nebo jiných výjimečných pracích.

Autorizované limity – kvantitativní ukazatel pro určitou radiační činnost nebo pro určitý zdroj IZ stanovený Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) [19].

### **Princip bezpečnosti ZIZ**

Za prvé se jedná o bezpečnost fyzickou, která má zabránit zneužití IZ, krádeži a případnému útoku teroristů. Druhá bezpečnost je technická a ta zajišťuje systém zkoušek a testování ZIZ.

Opatření k omezení ozáření jsou nutnou součástí systému ochrany aplikovaného na činnosti. Opatření mají za cíl jednak prevenci, tj. snížení pravděpodobnosti vzniku sledu událostí, jež mohou způsobit ozáření. Druhý cíl je omezení důsledků nehody, pokud k ní dojde [1].

### **Usměrňování lékařského ozáření**

Vyšetření nebo léčení IZ je odpovědností indikujícího lékaře i lékaře provádějícího úkon vedoucího k ozáření. Indikující lékař musí být kvalifikován, aby posoudil jak očekávatelný přínos, tak i újmu z ozáření s úkonem spojenou. Klinicky správně indikované vyšetření je pokládáno za zdůvodněné ve smyslu principů RO.

U vyšetření je cílem „dosažení nejnižší expozice nezbytné k diagnostickému záměru, s uvážením standardu přijatelné kvality zobrazení, stanoveného profesionálním tělesem a příslušným vodítkem lékařské expozice“ (IBSS). Směrné hodnoty pro lékařská ozáření jsou stanovená v příloze č. 9 vyhláška č. 307/2002 Sb [1].

#### **1.7.1 Legislativa v oblasti radiační ochrany: Infrastruktura RO**

Za prosazení požadavků RO a bezpečnosti zdrojů v rámci státu nesou odpovědnost vlády a obvykle je realizují prostřednictvím systému, v němž prvořadou roli hraje kompetentní odborná organizace RO.

Národní infrastruktura usnadňuje vládě realizovat odpovědnost za ochranu před záření a bezpečnost zdrojů. Její podstatnými součástmi jsou: právní předpisy, orgán RO a bezpečnosti zdrojů záření, zmocněný licencovat a dozorovat činnost se ZIZ a prosazovat předpisy do praxe. NI musí též zabezpečit, že bude prováděna výchova a výcvik odborníků v RO, jakož i výměna poznatků mezi odborníky.

Plné a správné zajištění RO vyžaduje, aby orgán RO ustanovený vládou reguloval zavádění a provádění jakékoliv činnosti zahrnující zdroje záření [1].

Zákony a jejich pozdější novely jsou stanoveny parlamentem České Republiky. Právní předpisy nabývají platnosti dnem jejich vyhlášení ve Sbírce zákonů.

SÚJB vydává Atomový zákon a jeho prováděcí v předpisy. Dále nezávazná Doporučení (tzv. Modrá řada) pro dobrou praxi v plnění zákonných předpisů a k bezpečnému nakládání se ZIZ při jednotlivých činnostech. Kromě legislativní činnosti SÚJB, vydává příslušná povolení k nakládání se ZIZ, povoluje provoz pracovišť III. A IV. Kategorie, schvaluje dokumentaci pro povolenou činnost a vykonává inspekční činnost na těchto pracovištích. Od roku 2011, kdy je v platnosti zákon MZČR č. 373/2011 Sb., jsou prováděny tzv. externí a interní klinické audity v oblasti zdravotní služby, jejichž součástí je lékařské ozáření. Cílem je ověřovat a hodnotit dodržování místních radiologických standardů, soulad s Národními radiologickými standardy a dodržování systému jakosti lékařského ozáření. O způsobu vyšetření (a s ním spojené dávce) rozhoduje tzv. aplikující odborník. Tito zdravotničtí pracovníci vyšetření provádějí na žádost tzv. indikujícího lékaře (tito lékaři mají k dispozici tzv. Indikační kritéria pro zobrazovací metody uveřejněné ve Věstníku MZ ČR č.11/2003 a měli by dbát na to, aby vyšetření bylo provedeno ve skutečně zdůvodněných případech). Výchova zdravotnického personálu (indikujících lékařů i aplikujících odborníků), příprava Národních radiologických standardů popisujících správný způsob provádění jednotlivých vyšetření, stanovení klinické odpovědnosti za ozáření a aktualizace indikačních kritérií je zcela v kompetenci Ministerstva zdravotnictví ČR (MZd). Zájem na uplatňování správných postupů by však měl mít i zřizovatel zdravotnického zařízení. Nezastupitelnou úlohu mají i odborné lékařské společnosti a Česká lékařská komora.

Dalším orgánem, který dohlíží nad radiační ochranou je Mezinárodní komise ochrany před zářením ICRP.

ICRP udává pokyny regulujícím orgánům, organizacím a jednotlivcům odpovědným za radiační ochranu. V důsledku jejich doporučení mohly být vytvořeny státní a regionální závazné standardy. ICRP se věnuje poskytováním pouček o základních principech radiační ochrany.

**Zákon č. 18/1997 Sb.**, zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů (poslední novela atomového zákona v platnosti od 1. 7. 2002 - zákon č.13/2002 Sb.). § 1 Předmět úpravy kromě jiného stanovuje:

- způsob využívání jaderné energie a ionizujícího záření a podmínky vykonávání činností souvisejících s využíváním jaderné energie a činností vedoucích k ozáření
- systém ochrany osob o životním prostředí před nežádoucími účinky IZ
- podmínky zajištění bezpečného nakládání s radioaktivními odpady
- výkon státní správy a dozoru [27].

**Vyhláška č. 307/2002 Sb.**, o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb. § 1 upravuje:

- zajištění RO při práci na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti,
- podrobnosti o pravidlech pro přípravu a provádění zásahů k odvrácení nebo snížení ozáření a stanoví směrné hodnoty pro tyto zásahy,
- zprošťovací úrovně, uvolňovací úrovně, limity ozáření, optimalizační meze, mezní hodnoty obsahu přírodních radionuklidů,
- podrobnosti ke klasifikaci zdrojů IZ a kategorizaci radiačních pracovníků a pracovišť, kde se vykonávají radiační činnosti,
- technické a organizační požadavky, postupy a směrné hodnoty k prokázání optimalizace RO,

- rozsah a způsob nakládání se zdroji IZ, nakládání s radioaktivními odpady a uvádění radionuklidů do životního prostředí,
- podmínky lékařského ozáření, diagnostické referenční úrovně a pravidla pro ozáření fyzických osob dobrovolně pomáhajících osobám podstupujícím lékařské ozáření,
- stanoví technické a organizační podmínky bezpečného provozu zdrojů ionizujícího záření a pracovišť s nimi, včetně vysokoaktivních a opuštěných záříčů
- vymezuje veličiny, parametry a skutečnosti důležité z hlediska radiační ochrany, stanoví rozsah jejich sledování, měření, hodnocení, ověřování, zaznamenávání, evidence a způsob předávání údajů Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost (dále jen "Úřad") [28].

**Vyhláška č.132/2008 Sb.**, o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd ve znění zákona č. 13/2002 Sb. a zákona č. 253/2005 Sb. § 1 Předmět úpravy kromě jiného stanovuje:

- požadavky na systém jakosti při provádění nebo zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie nebo radiačních činností,
- požadavky na náplň programu zabezpečování jakosti,
- kritéria pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd,
- základní požadavky na zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd,
- rozsah a způsob provedení seznamu vybraných zařízení [29].

## **1.8 Ionizující záření v medicíně**

Lékařské ozáření se smí uskutečnit pouze tehdy, je-li odůvodněno přínosem vyvažujícím rizika, která ozářením vznikají nebo mohou vzniknout.

Podmínky lékařského ozáření a pravidla pro ozáření fyzických osob dobrovolně pomáhajících osobám podstupujícím lékařské ozáření, včetně prokazatelného poučení a písemného souhlasu těchto fyzických osob, stanoví prováděcí právní předpis [30].

### **1.8.1 Radiální ochrana v radiodiagnostice**

Radiodiagnostika je významným lékařským odvětvím, kde dochází ke stanovení diagnózy, k získání obrazové informace po provedeném chirurgickém zákroku a ke sledování průběhu onemocnění [31].

#### **Rentgenová vyšetření:**

- skiografie,
- skiaskopie,
- angiografie,
- mamografie,
- počítačová tomografie (CT) [2, 31].

#### **Každé RTG zařízení se skládá z:**

- zdroj vysokého napětí,
- RTG zářič (rentgenka),
- primární clona – určuje vymezení svazku,
- sekundární clony - zachycují sekundární záření,
- vyšetřovací stůl,
- expoziční automat,
- receptor obrazu (kazety s filmem, CR, DDR, resp. zesilovač obrazu u skiaskopie)),
- ovládací zařízení [2, 31].

## **Radiologický asistent provádí u pacienta nastavení přístroje:**

### Velikost ohniska

Tzv. optické ohnisko je tvořeno kolmým průmětem elektronického ohniska do referenční roviny. S dobou provozu dochází k postupnému zvětšování ohniska, které se projeví zhoršenou kvalitou zobrazení v důsledku geometrické neostrosti, a dále ke snížení výtěžnosti záření. V důsledku toho se prodlužuje expoziční čas.

### Napětí na rentgence

Jedná se o potenciálový spád mezi anodou a katodou rentgenky. Významně ovlivňuje dávku aplikovanou pacientovi.

### Filtrace

Celková filtrace je dána vlastní a přídavnou filtrací. Záření vycházející z rentgenky je zeslabováno vlastní filtrací (okénko krytu rentgenky, chladicí oleje atd.) přídavné filtry se volí podle nastavení napětí.

Použitím filtrů se snižuje nejen hustota toku fotonů, ale svazek se stává pronikavějším, vzrůstá střední energie fotonového spektra. Se stoupající filtrací významně klesá dávka na kůži.

Anodové napětí a celková filtrace ovlivňují kvalitu záření.

### Expoziční čas

Čas potřebný k provedení expozice

### Expoziční automat

Funkce expozičního automatu je založena na porovnání měřeného signálu v ionizačních komůrkách s nastavenou hodnotou. Jestliže měřený signál dosáhne úrovně nastaveného signálu, expozice je ukončena. Čím je citlivost filmů a zesilujících fólií vyšší, tím je kratší expoziční čas.

U skiaskopie expoziční automat řídí velikost kermového příkonu na zesilovači obrazu, která je nutná pro optimální zobrazení na monitoru. Obecně platí čím menší pole, tím je vyšší hodnota kermového příkonu.

#### Vymezení svazku RTG záření

Jedním z nejdůležitějších sledovaných parametrů. Vede nejen ke snížení celkové aplikované dávky, ale zároveň k poklesu množství rozptýleného záření, které negativně ovlivňuje kvalitu obrazu.

#### Vzdálenost ohnisko – povrch pacienta (kůže)

K získání správně exponovaného filmu musí být film ozářen určitou výstupní dávkou (tj. dávkou na straně pacienta, kde rentgenový svazek vychází z pacienta a dopadá na film. Pro RO jsou stanoveny požadavky na minimální vzdálenosti ohnisko – pacient pro jednotlivé typy vyšetření.

#### Sekundární clona (mřížka)

S objemem prozařovaného objektu vzrůstá množství rozptýleného záření. Dopadají-li rozptýlené záření na receptor, dochází ke zhoršování obrazu. Sekundární clony absorbují rozptýlené záření, tím zvyšují ostrost a kontrast a tím kvalitu zobrazení. Umisťují se mezi objekt a receptor obrazu.

Rozlišujeme mřížky:

- stacionární a pohybové,
- paralelní a fokusované.

Při správném nastavení a funkci nesmějí být na snímku viditelné její lamely. Sekundární clony zlepšují kvalitu obrazu, dochází však ke zvýšení dávky pacientům.

#### Zesilující fólie

Je umístěna v kazetě v přímém kontaktu s filmem. Luminofor absorbuje velkou část RTG záření a současně emituje viditelné záření. Na dostatečné zčernání filmů je zapotřebí menší výstupní dávka a tím se i dávka pacientům značně redukuje [1].



Většinou jsou kV a mAs přednastavené jako orgánová předvolba pro standardního pacienta přesto se expoziční parametry musejí upravovat podle fyzických parametrů konkrétního pacienta nestandardní hmotnosti nebo rozměrů tak, aby bylo zobrazení optimalizované.

K ochraně pacientů se uplatňuje princip zdůvodnění a princip optimalizace. Princip limitování dávek nelze použít, neboť řešení zdůvodněných klinických problémů při různých radiodiagnostických výkonech musí mít přednost před jakýmkoliv formálními pravidly [32].

Z důvodu optimalizace radiační ochrany musí být používány stínící ochranné pomůcky pro vykrytí nezařovaných částí těla, v případě testes či ovárií musí být u pacientů v reprodukčním věku použity ochranné pomůcky vždy.

#### **K optimalizaci ozáření pacientů slouží:**

- vymezení svazku záření na co nejmenší pole
- přesné umístění pole na indikovanou oblast
- celková filtrace a anodové napětí
- použití citlivých zesilujících fólií, pokud nejde o DDR
- stínění radiosenzitivních orgánů nebo tkání [2, 31].

Při skiaskopii je radiační zátěž pacienta nejvíce ovlivněna kvalitou zesilovače obrazu, přesněji kermovým příkonem na vstupu zesilovače obrazu, a také celkovým skiaskopickým časem.

Pokud chceme, aby byla expozice pacienta co nejnižší, musí být anodové napětí co nejvyšší. Samozřejmě musíme dbát na to, že kontrast s rostoucím napětím klesá. Výrazným snížením dávky lze dosáhnout použitím citlivějších zesilujících fólií [1]. V současné době je většina filmových zobrazení nahrazena tzv. CR zobrazovacím systémem (nepřímá digitalizace) nebo DDR systémem (přímá digitalizace), kdy je diagnostická informace získávána přímo na diagnostických monitorech k tomu určených.

### **1.8.2 Radiační ochrana v radioterapii**

Radioterapie je samostatný medicínský obor, který se zabývá využitím IZ ke kurativní nebo paliativní a analgetické léčbě pacientů.

**Požadavky na bezpečnost zdrojů IZ - dát buď do úvodu terapie, nebo to sem vůbec nepatří**

Všechny zdroje IZ používané v radioterapii jsou s ohledem na aktivitu, způsob použití i míry rizika zařazeny mezi tzv. významné zdroje (podle současné legislativy). Při jejich používání v klinické praxi lze aplikovat všechna základní pravidla pro používání významných zdrojů v jakékoliv jiné oblasti lidské činnosti [1].

#### **Organizace radiační ochrany**

Organizace RO na radioterapeutickém pracovišti musí postihnout všechny činnosti, které by mohly vést k nežádoucímu ozáření pacienta, pracovníků a dalších osob a současně musí respektovat požadavky současné legislativy (vyhl. č. 307/2002 Sb.).

System monitorování probíhá stejně jako při jakékoliv jiné činnosti vedoucí k ozáření. Monitorování je zaměřeno na:

- monitorování pracovišť a v některých případech monitorování okolí pracoviště,
- osobní monitorování pracovníků,
- monitorování pacientů.

#### **Strategie RO**

Radiační ochrana na radioterapeutickém pracovišti musí zahrnovat všechny tři kategorie osob, které mohou být ozářeny v důsledku činnosti související s radioterapií:

- zdravotničtí pracovníci, kteří se podílejí na léčebném procesu (lékaři, radiologičtí asistenti, technici, fyzici a zdravotní sestry),
- další osoby, které mohou být na radioterapeutickém odd. přítomny (nejčastěji se jedná o doprovod pacientů),
- a samozřejmě léčení pacienti [1].

IZ se Využívá především k léčbě zhoubných nádorů citlivých na ozáření. Cílem je zničit nádor a co nejméně poškodit zdravé tkáně pacienta, pokud se jedná o kurativní léčbu. Mohou nastat situace, kdy už nádor nelze vyléčit, ale ozáření může jeho růst zpomalit nebo alespoň zmírnit jeho příznaky a takovou léčbu nazýváme paliativní. Jejím cílem je zlepšit kvalitu života a prodloužit jej. Často bývá ozařování doplňováno chemoterapií. Nesmíme také opomenout chirurgickou léčbu, která bezesporu patří k zásadním metodám léčby nádorů [4, 33]. Při sestavování plánu je z pohledu optimalizace RO nutno brát ohledy na kritické orgány. Kritické orgány mají menší prahovou dávku pro deterministické účinky, než je požadovaná léčebná dávka. Při překročení prahové dávky dochází k deterministickému poškození kritického orgánu a jeho funkce [4, 34].

Protože se často jedná o výkon zachraňující život pacienta, nelze pro ozáření pacientů uplatnit žádné limity dávek [1].

### **Plánování léčby**

Plánování léčby ozařováním spočívá v nalezení optimálních ozařovacích podmínek, aby byla splněna hlavní zásada léčby zářením: dodání dostatečné dávky záření do nádorového ložiska při současném maximálním šetření zdravých tkání.

Základním předpokladem pro naplánování bezpečného a účinného léčebného ozáření je adekvátní technické vybavení pracoviště. Proces plánování zahrnuje stanovení cíle ozáření (kurativní, paliativní a nebo kombinované s jinou léčbou).

Záření může proběhnout jednorázově nebo frakcionovaně.

Frakcionace je ozařování jednotlivými dílčími dávkami, které mohou být různě veliké a tvoří dohromady celkovou dávku [33].

### **Jednotlivé prvky systému při léčbě zevním ozářením**

Příprava pacienta probíhá na simulátoru, který umožňuje legalizovat, simulovat a verifikovat ozařované objemy.

**Fixace** pacienta je důležitou podmínkou správného provedení léčby zářením. Musí zajistit přesnou, stabilní a vždy dobře reprodukovatelnou polohu. Fixace je provedena podle ozařované lokality, nejčastěji pomocí komerčně vyráběných fixačních a polohovacích pomůcek (např. umělohmotné masky, klíny, podložky...).

#### Fixační pomůcky:

Patří k důležitým opatřením při ozařování a jsou jeho nedílnou součástí. Pokud se rozhodne o jejich využití při léčbě, musí být používány u každého nastavení na simulátoru, CT i při konečném ozáření. Zajišťují, aby pacient zaujímal stále stejnou polohu a svazek záření pronikal do cílového objemu. Ozařovací poloha, kterou pacient zaujímá, by měla splňovat: pohodlí pro pacienta, snadnou opakovatelnost a hlavně stabilitu. Použití fixačních pomůcek se vždy zaznamená do ozařovacího plánu pacienta [4, 34].

#### Druhy fixačních pomůcek:

- ozařovací maska,
- vakuové dlahy,
- podpěry,
- klíny,
- bloky,
- polštáře,
- kolébky,
- válce pod kolena [4, 34].

**Lokalizace nádorového objemu** podle anatomických lokalizací a struktur, také na simulátoru, se zakreslením křížků či linií, tzv. značek. Uvedené značky definují souřadnicový systém, který umožňuje přenést ozařovací plán, vypočítaný plánovacím systémem na tělo pacienta či fixační pomůcku pacienta.

#### **Plánovací CT zobrazení**

Pacient poté absolvuje plánovací CT zobrazení (v určitých případech, zvláště při plánování v oblasti mozkovny či prostaty i MR plánovací vyšetření), které poskytuje

kvalitní geometrické zobrazení anatomie pacienta. Na prvotně lokalizované značky jsou umístěny RTG kontrastní značky.

### **Přenos CT řezů do plánovací stanice a vytvoření 3D objemu**

Plánovací CT snímky jsou on-line přeneseny do plánovacího systému a je vytvořena 3D rekonstrukce. Je zakreslen neboli konturován obrys těla pacienta, dále objemy a obrysy struktur skeletu, cílových objemů a kritických orgánů.

### **Zakreslení cílového objemu a určení dávky lékařem**

- 1) Na jednotlivých CT řezech vyznačí lékař kontury cílového objemu a kritických orgánů. Jsou definované 3 základní objemy: GTV je objem nádoru (gross tumor volume)
- 2) CTV je klinický cílový objem (clinical target volume) - GTV+ lem zahrnující potenciální mikroskopické šíření nádoru
- 3) PTV je CTV + lem zahrnující fyziologické změny změny pozice CTV v organismu a chyby při nastavení pacienta.

Při tvorbě ozařovacího plánu je lékařem určena celková dávka, počet frakcí a dávka na jednotlivou frakci + možná ozařovací technika. Ozařovací technika i počet polí se ale v průběhu plánování může kdykoli změnit v závislosti na dávku v kritických orgánech.

### **Vytvoření ozařovacího plánu**

Jako plánovací systém je označován software, který na importovaných CT obrazech umožňuje provést naplánování ozáření. V současnosti se používají především 3D systémy, které plánují v prostoru.

Plánovací systém obsahuje algoritmy k vypracování ozařovacího plánu. Využívá uložená data o svazcích záření daného ozařovače (energii, druh, velikosti polí, atd.) a při výpočtu zohledňuje rozdílnou homogenitu tkání.

## **Schválení ozařovacího plánu a jeho odeslání k verifikaci na simulátoru**

Po schválení ozařovací plánu lékařem se plán vytiskne a data jsou odeslána k simulaci. Součástí ozařovacího plánu se stávají i výtisky dávek na kritické orgány a přepočty na ekvivalentní dávky.

### **Verifikace na simulátoru**

Pacient je při simulaci na CT-simulátoru nastaven do stejné polohy jako při lokalizaci a při plánovacím CT vyšetření; jsou přeneseny a zakresleny vypočtené souřadnice (X, Y, Z) izocentra na tělo pacienta nebo na fixační pomůcky, a to vypočteným posunem z původních značek souřadnicového systému. Je provedena kontrola ozařovaných polí a kontrola polohy lamel vícelamelového kolimátoru.

### **První nastavení na ozařovači**

Při prvním ozáření se provádí kontrola správnosti nastavení. K ověření správnosti a přesnosti slouží i integrované zobrazovací systémy do lineárních urychlovačů, umožňující portálové snímkování nebo CT zobrazení; IGRT technika. Odchyšky jsou dle závažnosti korigovány. Tyto kontroly přesnosti prováděné léčby probíhají v určitých časových intervalech po celou dobu probíhající radioterapie. Součástí léčby je i in vivo dozimetrická kontrola aplikované dávky. Po každé frakci ozáření počítačový systém tiskne údaje o ozáření, které jsou součástí pacientovy dokumentace. V průběhu ozáření je pacient v ozařovně audiovizuálně sledován z ovladovny.

### **Ozařovací podmínky:**

- kvalita záření a jeho filtrace,
- ozařovací vzdálenost,
- ozařovací pole,
- ozařovací objem,
- ozařovací čas, počet impulsů.

**Kvalita záření je určena následujícími parametry:**

- druh záření,
- energie záření,
- homogenita záření.

**K modifikaci svazku se používá:**

- bolus,
- klínové filtry,
- vykrývací bloky,
- multileaf collimator (MLC) [4].

**Ozařovací techniky:**

- jedno pole,
- dvě pole,
  - kontralaterální pole,
  - konvergentní pole,
- tři pole,
  - technika T,
  - technika Y,
- čtyři pole,
  - křížový oheň,
  - box technika,
- pět a více polí jsou velkoobjemové ozařovací techniky [4, 34].

V průběhu ozařování může docházet k řadě obtíží a změn. Jedná se o poiradiační syndrom – celkové vedlejší účinky.

**Příznaky:**

- celková únava,
- ospalost,
- ztráta zájmů,
- bolesti hlavy,

- nechutenství, nevolnost až zvracení [4].

Dále mohou nastat:

- akutní vedlejší účinky,
- pozdní vedlejší účinky,
- velmi pozdní vedlejší účinky [33].

### **1.8.3 Způsoby radioterapie**

#### **Teleterapie**

Při léčbě teleterapií se pacienti ozařují svazky IZ, hlavními zdroji jsou lineární urychlovače, kobaltové a cesiové ozařovače už se vyskytují jen na několika málo pracovištích [4, 35]. Hlavním cílem všech ozařovacích technik teleterapie je homogenní prozáření cílového objemu potřebnou dávkou a současně co nejprudší spád dávky směrem ke zdravým tkáním a kritickým orgánům. To se dosahuje optimalizací ozařovacích podmínek, které se stanovují tzv. plánováním léčby.

#### **IMRT**

Radioterapie s modulovou intenzitou svazku je ozařovací technika využívající většího počtu svazků záření z různých úhlů. Princip spočívá v dodání potřebné dávky záření do cílového objemu, ale zároveň musejí být šetřeny kritické orgány, které jsou v blízkosti tumoru. V současné době je využívána zejména pro léčbu karcinomů v oblasti hlavy a krku [34].

#### **Truebeam ozařovač**

Lineární urychlovač, který v sobě integruje stereotaktické ozařovače, dovoluje, aby bylo pro konkrétního pacienta možné vybrat optimální metodu léčby. Jeho využití v radioterapii je všestranné, včetně ozařování speciálních nádorů. Efektivnější zobrazovací metody a výrazně přesnější polohování pacienta umožňují větší flexibilitu pro léčbu všech klinicky potřebných lokalizací [36].



## **Brachyterapie**

Jedná se o radioterapii s využitím radionuklidového zářiče které se zdroj záření umísťuje do kontaktu s léčeným ložiskem. Tato léčebná technika umožňuje dodání vysoké dávky do malého objemu léčené tkáně a při tom šetřit okolní zdravé tkáně [35].

### **Dělení podle délky trvání:**

- permanentní – zdroj je trvale implantován a ponechán v cílové tkáni, mají relativně krátký poločas rozpadu a rychle po zavedení pozbývají účinnosti
- dočasná implantace – po ozáření je zářič opět vyjmut [35, 37].

### **Dělení podle umístění:**

- intersticiální – umístění do tumoru,
- kontaktní – umístění do blízkosti tumoru,
  - intrakavitární – zavádění zářiče do dutin,
  - intraluminální,
  - endovaskulární,
  - povrchová BRT [37].

Nejčastěji je k zavádění zářičů využíván tzv. automatický afterloadingový aplikátor zářičů, což znamená umístění zdrojů do předem zavedených aplikátorů s pomocí přístroje. Tento řídicí mechanismus plní funkci stínícího kontejneru, do kterého jsou zářiče přemístěny při jakémkoliv přerušení nebo po ukončení léčby. Tím se dosahuje dokonalá ochrana osob, které mohou přijít do kontaktu s ozařovaným pacientem. Tato metoda umožnila zavedení tzv. HDR brachyterapie [1].

HDR (high dose rate) brachyterapie – zářiče s vysokou aktivitou (stovky GBq). Dávkové příkony v ozařovaném ložisku dosahují několika jednotek až desítek Gy/min. Nutnost použití pro zavedení dálkové ovládní, aby byl personál chráněn před vysokým ozářením. Nezbytně nutná je frakcionace z důvodu vysokých dávek.

LDR (low dose rate) brachyterapie – dávkové příkony v oblasti ložiska se pohybují od desetin do jednotek Gy/h. Aktivita zářičů činí jednotky GBq [37].

Pokud dochází k tzv. manuálnímu afterloadingu (kdy je přesun zářiče z kontejneru do aplikátoru proveden ručně) nebo dokonce při manuální aplikaci zářičů (tj. bez využití afterloadingu) je nutné zvýšené zabezpečení ochrany radiačních pracovníků a zdrojů IZ [1].

#### **1.8.4 Radiační ochrana v nukleární medicíně**

Nukleární medicína je obor zabývající se diagnostikou a léčbou pomocí otevřených radioaktivních zářičů, aplikovaných do vnitřního prostředí organismu. Přípravky obsahující chemickou sloučeninu, jejíž složkou je radionuklid jako zdroj ionizujícího záření, jsou radiofarmaka. Aplikují se jako roztoky, plyny nebo pevné látky (želatinové kapsle). K aplikaci se využívají jen uměle vyrobené radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu, nejčastěji v rozmezí několika hodin popřípadě dnů. Veškerá používaná radiofarmak musejí být registrována Státním ústavem pro kontrolu léčiv v Praze [15, 38].

##### **Radionuklidy a radiofarmaka**

V nukleární medicíně se uplatňují jen umělé radionuklidy, jež mají vhodné fyzikální charakteristiky: fyzikální poločas v rozmezí několika hodin až dnů, emise záření beta a gama a energie záření gama [1].

Cíle optimalizace při lékařských aplikacích je třeba rozlišovat podle konkrétní oblasti použití záření. Při vyšetření radionuklidy je nutno aplikovat pouze nezbytné množství radioaktivní látky požadované čistoty a aktivity, které zaručuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnížší zátěži pacienta.

Aktivita radiofarmaka, která se aplikuje pacientovi při vyšetřeních v nukleární medicíně, musí být volena tak, aby zaručila dostatečnou diagnostickou informaci při co

nejnižší radiační zátěži pacienta. Ze vstupních veličin změřených před vyšetřením se stanoví dávky v orgánech a na jejich základě riziko stochastického účinku v uvažovaném orgánu nebo na základě efektivní dávky celkové riziko těchto účinků.

**Tabulka 3: přehled efektivních dávek některých diagnostických vyšetření v nukleární medicíně s uvedením radiofarmak (včetně jejich aktivit) a diagnostických referenčních úrovní (DRÚ)**

Vyšetření	Radiofarmakum	Diagnostická referenční úroveň (MBq)	Efektivní dávka vztažená na DRÚ (mSv)
Renografie prostá	<sup>131</sup> I – hippuran	<b>1</b>	<b>0,052</b>
Gastroezofageální reflux	<sup>99m</sup> Tc – koloid	<b>50</b>	<b>0,47</b>
Detekce sent. uzlin	<sup>99m</sup> Tc – nanokoloid	<b>100</b>	<b>1,1</b>
Objem krve	<sup>53</sup> Cr – erytrocyty	<b>6</b>	<b>1,1</b>
Scintigrafie plic perfuze	Tc – mikrosféry	<b>200</b>	<b>2,2</b>
Scintigrafie nadledvin planární	I - MIBG	<b>200</b>	<b>2,6</b>
Scintigrafie hepatobil. systému SPECT	<sup>99m</sup> Tc - koloid	<b>300</b>	<b>2,8</b>
Scintigrafie ŠŽ planární	<sup>123</sup> I - jodid	<b>20</b>	<b>4</b>
Scintigrafie	<sup>99m</sup> Tc –	<b>700</b>	<b>4,9</b>

krvácení do GIT	erythrocyty		
Scintigrafie detekce trombu	<sup>99m</sup> Tc – trombocyty	<b>500</b>	<b>6</b>
Scintigrafie mozku	<sup>18</sup> F - FDG	<b>400</b>	<b>7,6</b>
Perfuze myokardu viabilita	<sup>18</sup> F - FDG	<b>500</b>	<b>9,5</b>
Radionuklidová angiografie	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	<b>800</b>	<b>10,4</b>
Scintigrafie nádorů	<sup>99m</sup> Tc - depreotid	<b>800</b>	<b>12,8</b>
Scintigrafie zánětů plan., SPECT	<sup>67</sup> Ga - citrát	<b>150</b>	<b>15</b>
Scintigrafie ŠŽ	<sup>201</sup> Tl - chlorid	<b>80</b>	<b>17,6</b>
Perfuze myokardu	<sup>201</sup> Tl - chlorid	<b>110</b>	<b>24,2</b>
Scintigrafie nádorů	<sup>67</sup> Ga - citrát	<b>300</b>	<b>30</b>

Zdroj: Vyhláška č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb. příloha 9 tab. č. 7

**V nukleární medicíně jsou využívány dvě diagnostické metody:**

**1) Metoda in vivo**

Metoda, při které je pacientovi aplikováno radiofarmakum (nejčastěji intravenózně). Podle druhu vyšetření pacient vyčká, až se radiofarmakum naakumuluje v potřebném orgánu. Poté může proběhnout skenování pomocí detektorů detekujících záření. Vyšetření je bezbolestné. Pouze se sledují fyziologické a biochemické procesy v těle a jejich patologické změny.

**2) Metoda in vitro**

Metoda, při které je pacientovi odebrán vzorek biologického materiálu (krev, moč atd.), ten je zpracován pomocí radioaktivní látky. Využívá se např. ke stanovení koncentrace hormonů nebo protilátek v krvi [31].

**Scintigrafie**

Scintigrafie je metoda zobrazující funkci vyšetřované tkáně, do které se akumulovalo podané radiofarmakum a na základě zevní detekce vycházejícího záření je sestaven obraz.

Scintigrafické metody dělíme na statické a dynamické podle toho, zda zachycují rozložení radiofarmaka v jednom nebo více časových intervalech, a dále na planární a tomografickou podle toho, zda zobrazuje jednu projekci nebo obraz řezu, tenké vrstvy, rekonstruovaný z mnoha projekcí [15].

**Uspořádání pracovišť**

Typické pracoviště nukleární medicíny sestává ze tří částí:

- 1) úsek pro příjem, přípravu a kontrolu radiofarmaka (laboratorní úsek) a pro další práce laboratorní povahy (vyšetření in vitro)
- 2) úsek radionuklidové diagnostiky (ambulantní část)
- 3) lůžková část pro hospitalizaci pacientů s aplikovanou terapeutickou aktivitou radiofarmaka.

## **Radiační Ochrana pacientů**

Radiační zátěž osoby vyšetřované pomocí radioaktivní látky vyjadřuje souhrnně soubor středních absorbovaných dávek v orgánech a tkáních těla a efektivní dávkou. Absorbovaná dávka v orgánu nebo tkáni závisí na fyzikálních charakteristikách použitého radionuklidu, na aktivitě aplikovaného radiofarmaka a na distribuci a kinetice této látky v těle [1].

Aktivita radiofarmaka, která se aplikuje pacientovi při vyšetřeních v nukleární medicíně, musí být volena tak, aby zaručila dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži pacienta. Při volbě optimální aktivity aplikované dospělým se rovněž respektuje diagnostická referenční úroveň (DRÚ), což je hodnota aktivity použitelná pro standardního pacienta o hmotnosti 75 kg, která by v rutinní klinické praxi neměla být překračována.

To znamená, použít jen nezbytné množství radioaktivní látky, požadované čistoty a aktivity. V praxi se využívají tzv. tabelové hodnoty a ty jsou vypočteny pro referenčního člověka o hmotnosti 70 kg, pro ženu a referenční děti ve věku 1, 5, 10 a 15 let [15].

Snížení nežádoucí vnitřní kontaminace pacienta se může dosáhnout podáváním dostatečného množství tekutin a jejich následným vyloučením, které ovlivňuje biokinetiku radiofarmaka a dochází tedy ke snížení radiační zátěže močového měchýře [14]. Jinou možností je zabránit případně, omezit přísun radiofarmaka do určitého orgánu (běžně se blokuje štítná žláza podáním preparátů).

### **K zajištění ochrany pacientů na oddělení nukleární medicíny slouží**

- kontrola kvality radiofarmak před jejich aplikací pacientovi,
- dodržování DRÚ a volba optimální aktivity radiofarmak,
- ovlivňování biokinetiky radiofarmaka,
- kontrola kvality vyšetřovacích postupů a přístrojů [39].

Vyšetření gravidních žen se provádí jen v neodkladných případech, snížením aplikované aktivity a prodloužením doby vyšetření [15]. Gravidita je absolutní

kontraindikaci pro léčbu radionuklidů, v době kojení pouze po konzultaci s lékařem [39].

### **Radiační ochrana při léčbě otevřenými zářiči**

Léčebné aplikace radionuklidů, které jsou otevřenými zářiči, se provádějí jen v lůžkových částech zdravotnických zařízení, speciálně upravených a vybavených tak, aby splňovaly požadavky na pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči. Přitom musí být zajištěno, aby pacienti nepoužívali vlastní prádlo a při propuštění pacientů i všechny předměty osobní potřeby byly zkontrolovány z hlediska možného znečištění radionuklidů, a případně dekontaminovány nebo odstraněny jako předměty znečištěné radionuklidů nebo radioaktivní odpady. Ambulantní léčebné aplikace radionuklidů se mohou uskutečňovat, jen pokud tak stanoví v podmínkách příslušného povolení Úřad, například při paliativní léčbě kostních metastáz. Ambulantní léčebné aplikace radionuklidů nejsou přípustné u inkontinentních pacientů nebo u pacientů neschopných dodržovat základní hygienická pravidla.

Propouštění pacientů do domácí péče po léčebné aplikaci radionuklidů se usměřuje tak, aby nebyly překročeny limity podle § 23 odst. 1 čeho vyhlášky č. 307/2002 Sb. Tyto limity se vztahují také na usměrňování ozáření pro návštěvníky pacientů po léčebné aplikaci radionuklidů. Údaje se zaznamenávají do zdravotnické dokumentace pacienta. V případě, že pacient podstupuje léčbu radionuklidů, poskytne držitel povolení pacientovi nebo jeho zákonnému zástupci před opuštěním zdravotnického zařízení písemnou informaci o rizicích ionizujícího záření a písemné pokyny, jak omezit dávky u osob, které přicházejí s pacientem do styku, na tak nízkou úroveň, jak lze rozumně dosáhnout. V případě, že by se ozáření osob v domácnosti mohlo blížit hodnotám obecných limitů, je třeba poskytnout písemné pokyny i pacientům, kteří podstupují vyšetření radionuklidů [40].

## **2 Praktická část**

### **2.1 Cíl práce**

Analyzovat rozdíly ve znalostech problematiky IZ u klientů před radiologickým vyšetřením na oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny.

### **2.2 Výzkumná otázka**

Jsou srovnatelné znalosti klientů o ionizujícím záření na oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny?



## **3 Metodika**

### **3.1 Postup práce**

Před zpracováním bakalářské práce nejprve proběhl kvantitativní výzkum formou anonymních dotazníků umístěných do čekáren oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Na každé z oddělení bylo umístěno 50 dotazníků. Výzkum probíhal na oddělení RDG v Nemocnici Český Krumlov, a.s., na oddělení RTO v Nemocnici České Budějovice, a.s., a na oddělení NM ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady.

Získaná data znázorňují tabulky a grafy.

### **3.2 Dotazník**

Dotazník obsahoval celkem 13 otázek. Každá otázka byla položena tak, aby bylo možné zaškrtnout jednu z nabízených variant odpovědí. Otázky 1-3 mají obecný charakter, zjištění pohlaví, věku a vzdělání. Zbylých deset otázek je zaměřeno na konkrétní problematiku.

## 4 Výsledky

Průzkumu se celkem zúčastnilo 150 klientů ze tří nemocnic. 50 klientů oddělení RDG Nemocnice Český Krumlov, a.s., 50 klientů oddělení RTO Nemocnice České Budějovice, a.s. a 50 klientů oddělení NM Fakultní nemocnice Královské Vinohrady.

Údaje získané z vyplněných dotazníků jsou zpracovány do tabulek a grafů.

### 4.1 Otázka č. 1: Zastoupení pohlaví

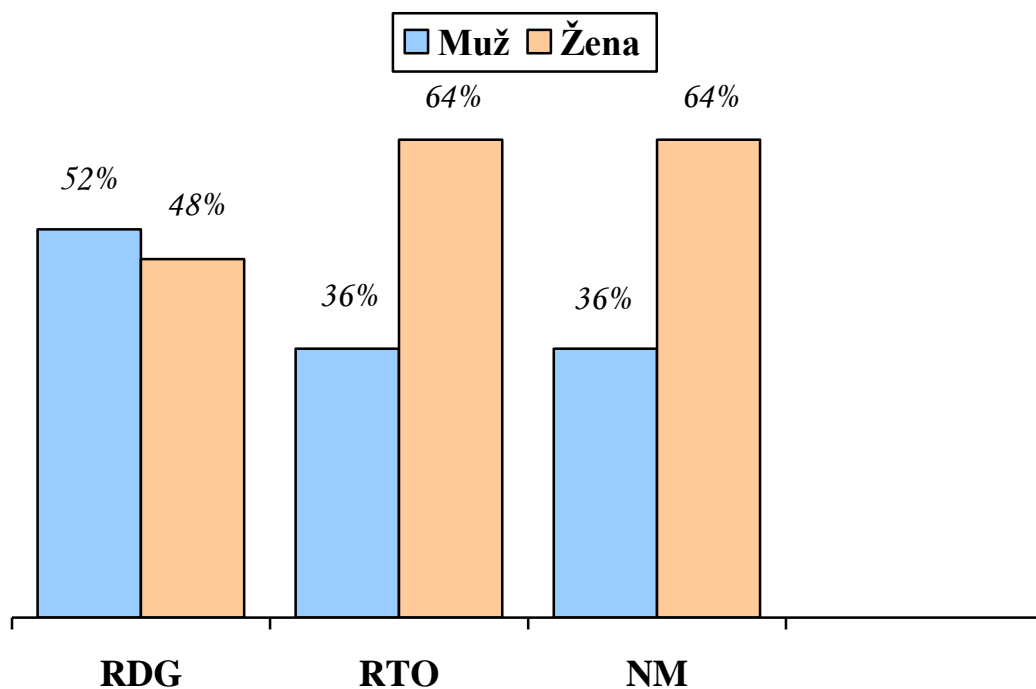
*Tabulka 4: zastoupení pohlaví*

	<b>RDG (n=50)</b>	<b>RTO (n=50)</b>	<b>NM (n=50)</b>
<b>Muž</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
<b>Žena</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>32</b>

Zdroj: vlastní zpracování

Z celkového počtu 150 klientů (100 %) se dotazníkového šetření zúčastnilo na odd. RDG 26 mužů (52 %) a 24 žen (48 %). Na odd. RTO se zúčastnilo 18 mužů (36 %) a 32 žen (64 %). Na odd. NM odpovědělo 18 mužů (36 %), 32 žen (64 %), viz tab 1 a graf č.

1



*Graf č. 1: zastoupení pohlaví*

Zdroj: vlastní výzkum

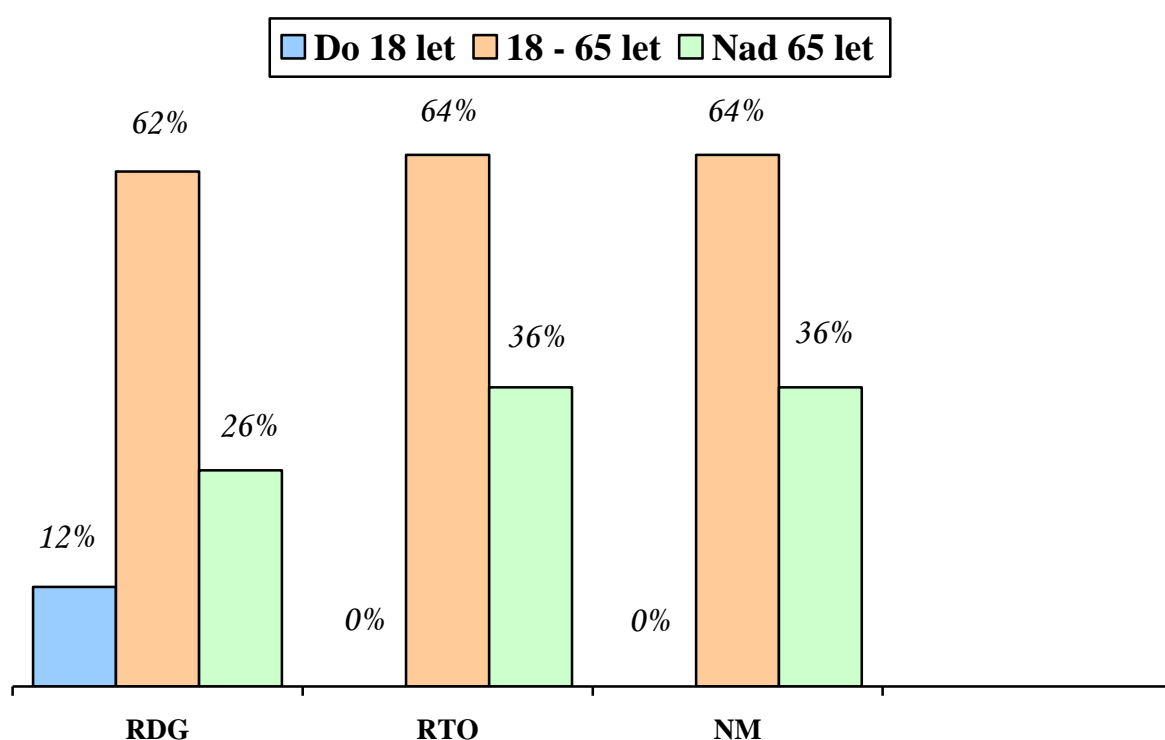
#### 4.2 Otázka č. 2: Zastoupení věkových kategorií

*Tabulka 5: zastoupení věkových kategorií*

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
<b>Do 18 let</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>18 – 65 let</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>32</b>
<b>Nad 65 let</b>	<b>13</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

Zdroj: vlastní zpracování

Z celkového počtu 150 klientů (100 %) se průzkumu zúčastnilo na odd. RDG 6 klientů pod 18 let (12 %) v zastoupení zákonného zástupce, 31 klientů v rozmezí 18 – 65 let (62 %) a 13 klientů nad 65 let (26 %). Na odd. RTO se průzkumu nezúčastnil nikdo do 18 let, v rozmezí 18 – 65 let bylo 32 klientů (64 %) a nad 65 let odpovědělo 18 klientů (36 %). Na odd. NM se taktéž nezúčastnil průzkumu nikdo pod 18 let, v rozmezí 18 – 65 let odpovědělo 32 klientů (64 %) a nad 65 let 18 klientů (36 %), viz tab 8 a graf č. 2



**Graf č. 2: věkové kategorie**

Zdroj: vlastní výzkum

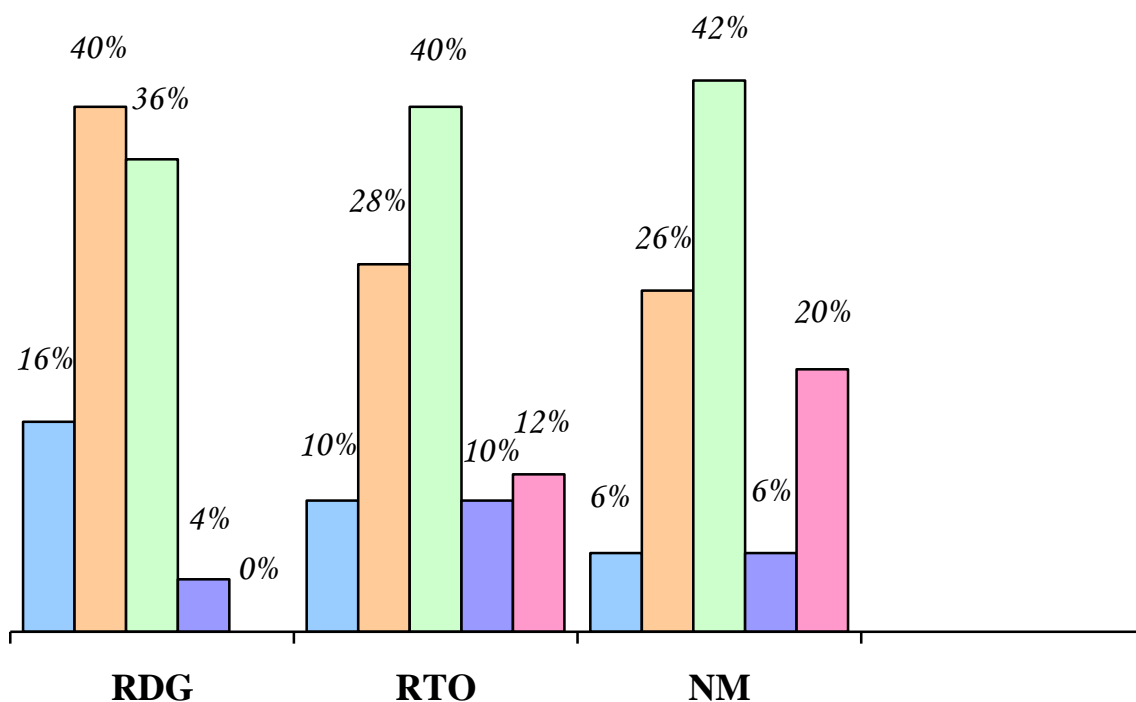
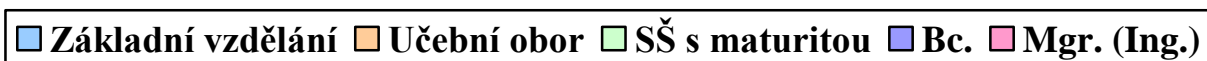
### 4.3 Otázka č. 3: Nejvyšší dosažené vzdělání klientů

Tabulka 6: nejvyšší dosažené vzdělání klientů

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
<b>Základní vzdělání</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Vyučen v oboru</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>13</b>
<b>SŠ s maturitou</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
<b>Bakalářské studium</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Magisterské studium</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>10</b>

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka č. 9 a graf č. 3 ukazuje, že odd. RDG navštívilo 8 klientů se základním vzděláním (16 %), 20 klientů vyučených v oboru (40 %), 18 klientů s maturitou (36 %), 2 klienti s titulem Bc. (4 %), titul Mgr. (popř. Ing.) nemá žádný klient (0 %). Na odd. RTO odpovědělo 5 klientů se základním vzděláním (10 %), 14 klientů vyučených v oboru (28 %), 20 klientů s maturitou (40 %), 5 klientů s titulem Bc. (10 %) a 6 klientů s magisterským vzděláním (12 %). Odd. NM navštívili 3 klienti se základním vzděláním (6 %), 13 klientů vyučených v oboru (26 %), 21 klientů se středním vzděláním (42 %), titul Bc. měli 3 klienti (6 %) a magisterské vzdělání mělo 10 klientů (20 %).



**Graf č. 3: nejvyšší dosažené vzdělání**

Zdroj: vlastní výzkum

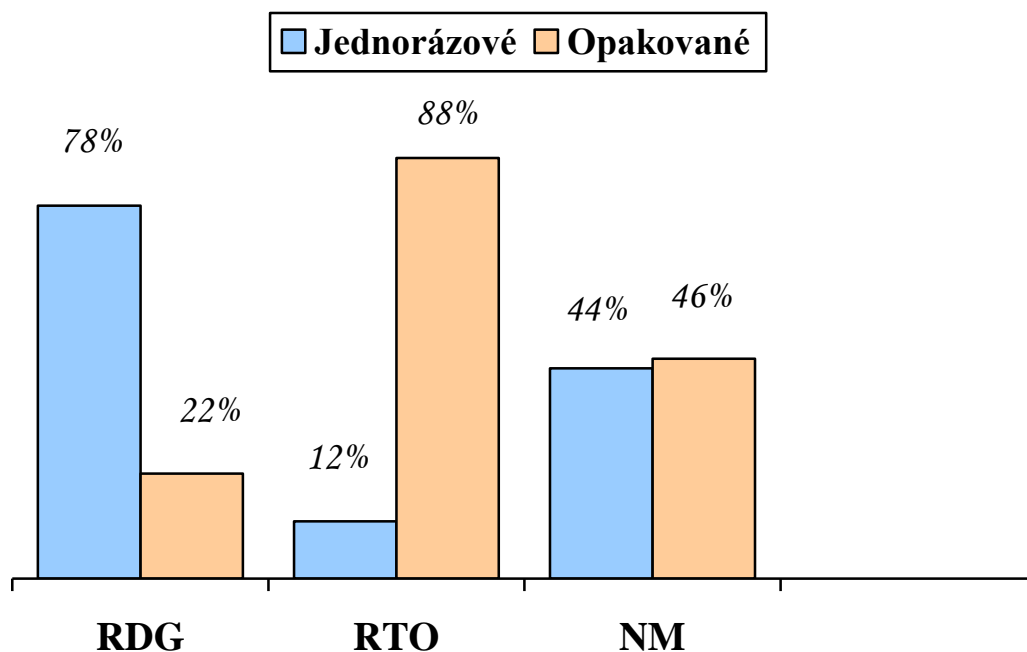
#### 4.4 Otázka č. 4: Četnost vyšetření

**Tabulka 7: četnost vyšetření**

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
<b>Jednorázové</b>	<b>39</b>	<b>6</b>	<b>22</b>
<b>Opakované</b>	<b>11</b>	<b>44</b>	<b>28</b>

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka č. 10 a graf č. 4 znázorňuje četnost vyšetřovaných klientů. Odd. RDG podstoupilo jednorázové vyšetření 39 klientů (78 %) a opakované vyšetření proběhlo u 11 klientů (22 %). Na odd. RTO proběhlo jednorázové vyšetření u 6 klientů (12 %) a opakované u 44 klientů (88 %). Na odd. NM bylo vyšetřeno jednorázově 22 klientů (44 %) a opakovaně 28 klientů (46 %).



**Graf č. 4: četnost vyšetření**

Zdroj: vlastní výzkum

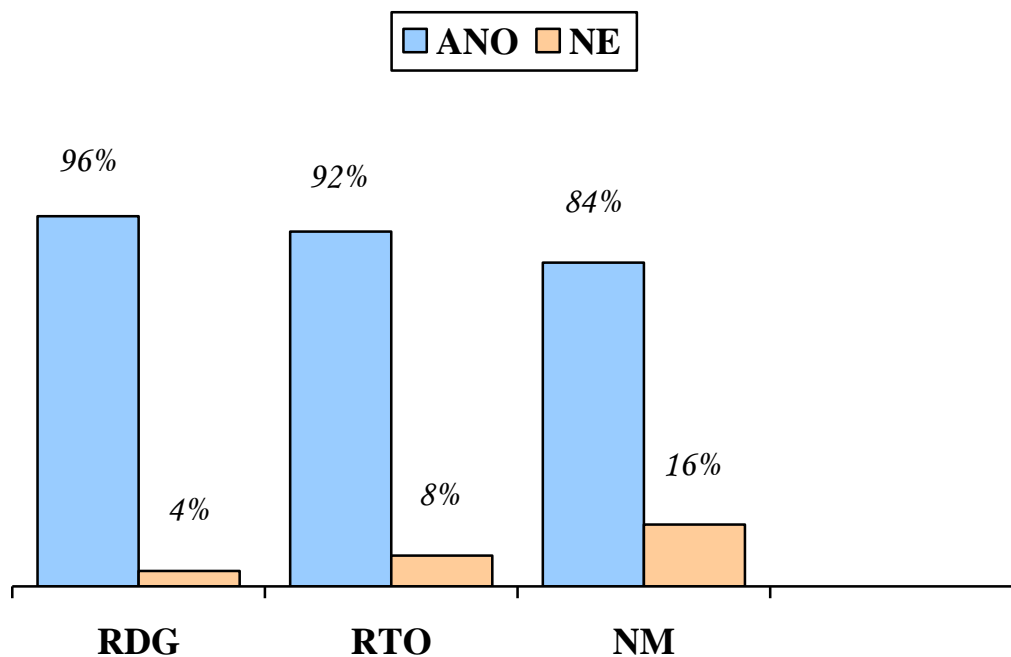
#### 4.5 Otázka č. 5: Víte, že je ionizující záření škodlivé?

Tabulka 8: Je ionizujícího záření škodlivé?

	RDG (n=50)	TRO (n=50)	NM (n=50)
ANO	48	46	42
NE	2	4	8

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce č. 11 a grafu 5 je uvedeno, zda klient považuje účinky IZ za škodlivé. Na odd. RDG uvedlo 48 klientů ano (96 %) a 2 klienti si myslí, že ne (4 %). Na odd. RTO odpovědělo 46 klientů ano (92 %) a 4 klienti uvedli ne (8 %). Na odd. NM uvedlo 42 klientů ano (84 %) a 8 klientů ne (16 %).



Graf č. 5: Je ionizující záření škodlivé?

Zdroj: vlastní výzkum



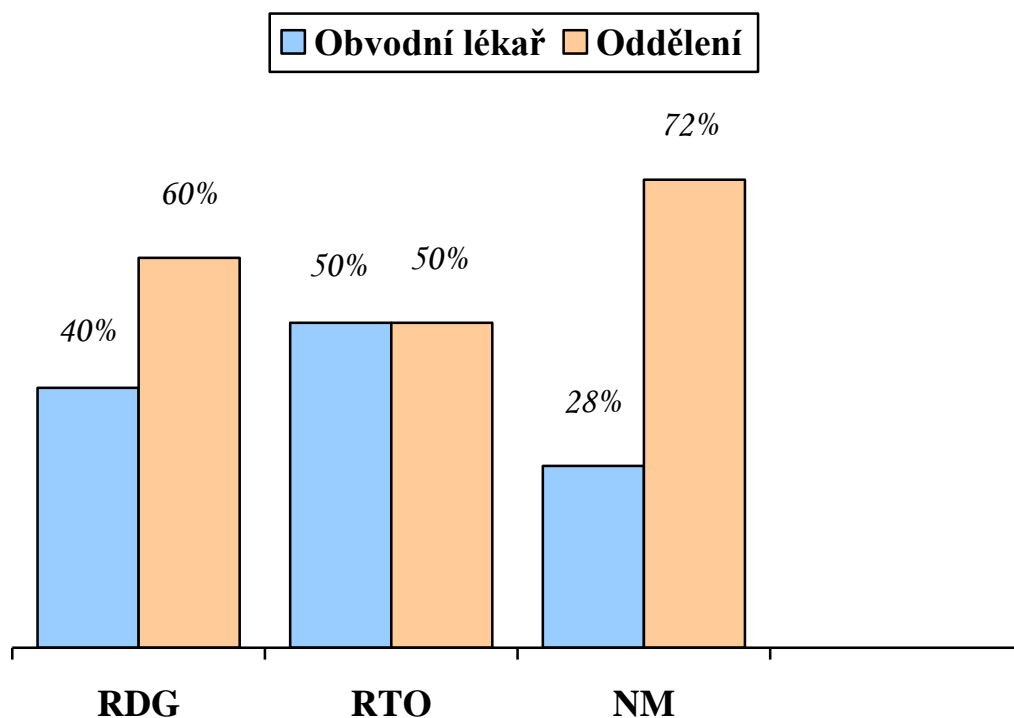
#### 4.6 Otázka č. 6: Na vyšetření jste byl(a) poslán(a):

*Tabulka 9: kdo klienta na vyšetření odeslal*

	<b>RDG (n=50)</b>	<b>RTO (n=50)</b>	<b>NM (n=50)</b>
<b>Obvodní lékař</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>14</b>
<b>Oddělení</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>36</b>

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce 12 a grafu č. 6 je uvedeno, zda byl klient na vyšetření odeslán obvodním lékařem či konkrétním oddělením. Na odd. RDG bylo zasláno 20 klientů obvodním lékařem (40 %) a oddělením bylo vysláno 30 klientů (60 %). Na odd. RTO bylo zasláno obvodním lékařem 25 klientů (50 %) a stejný počet tedy 25 oddělením (50 %). Na odd. NM bylo doporučeno 14 klientů obvodním lékařem (28 %) a 36 klientů oddělením (72 %).



**Graf č. 6: kdo klienta na vyšetření odeslal**

Zdroj: vlastní výzkum

#### 4.7 Otázka č. 7: Zjišťovali jste si informace o ionizujícím záření?

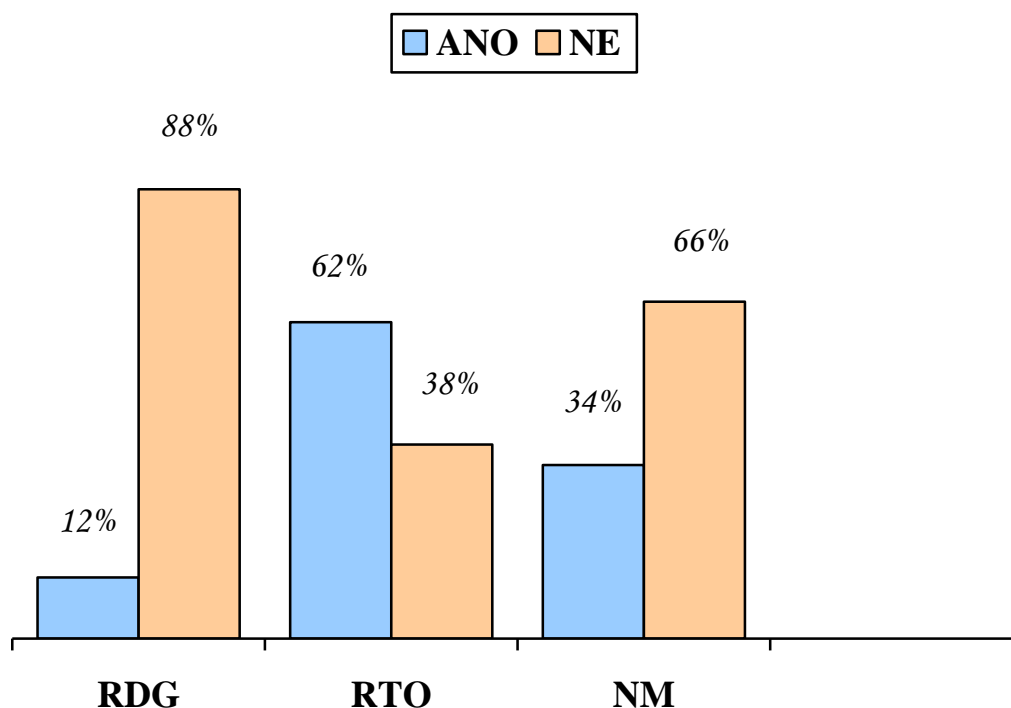
**Tabulka 10: vlastní vyhledávání informací o IZ**

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
ANO	6	31	17
NE	44	19	33

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 13 a graf č. 7 uvádí, zda si klienti sami vyhledávali informace o IZ. Na odd. RDG uvedlo ano 6 klientů (12 %) a 44 klientů odpovědělo ne (88 %). Na odd.

RTO označilo ano 31 klientů (62 %) a ne zaškrtno 19 klientů (38 %). Na odd. NM odpovědělo ano 17 klientů (34 %) a odpověď ne označilo 33 klientů (66 %).



*Graf č. 7: vlastní vyhledávání informací o IZ*

Zdroj: vlastní výzkum

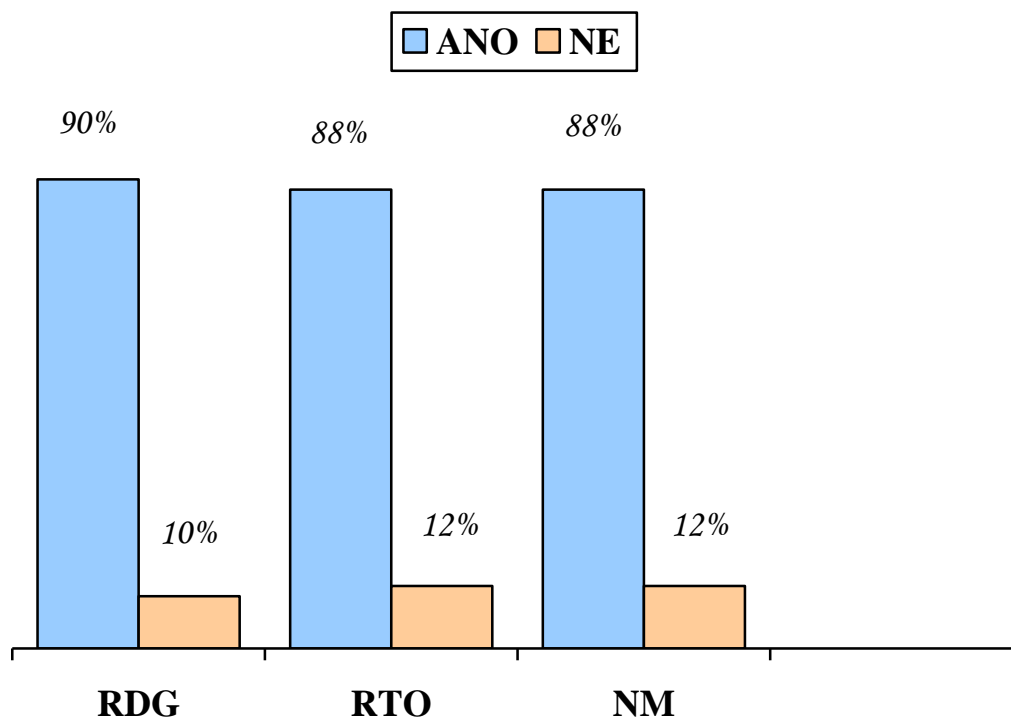
#### 4.8 Otázka č. 8: Víte, co znamená tento znak?

*Tabulka 11: znalost symbolu pro radioaktivitu*

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
ANO	45	44	44
NE	5	6	6

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 14 a graf č. 8 uvádí, zda klienti vědí, co znamená symbol pro radiální nebezpečí. Na odd. RDG uvedlo *ano* 45 klientů (90 %) a 5 klientů odpovědělo *ne* (10 %). Na odd. RTO označilo *ano* 44 klientů (88 %) a *ne* zaškrtnulo 6 klientů (12 %). Na odd. NM odpovědělo *ano* 44 klientů (88 %) a odpověď *ne* označilo 6 klientů (12 %).



**Graf č. 8: znalost symbolu pro radioaktivitu**

Zdroj: vlastní výzkum

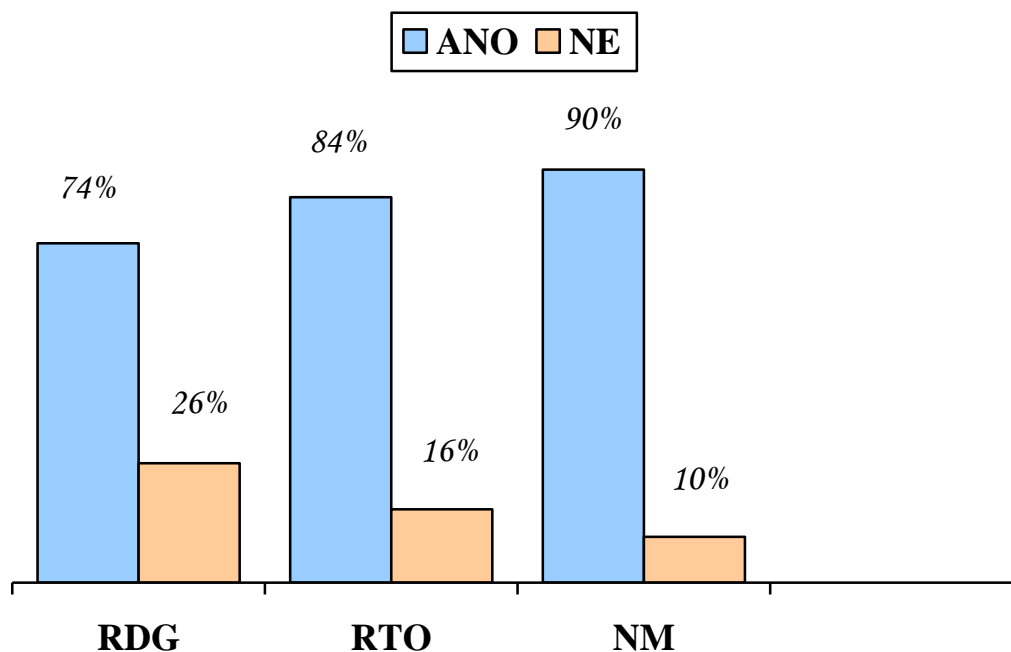
#### 4.9 Otázka č. 9: Víte, že existuje kontrolované pásmo?

Tabulka 12: znalost kontrolovaného pásma

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
ANO	37	42	45
NE	13	8	5

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 15 a graf č. 9 uvádí, zda klienti vědí, že existuje kontrolované pásmo. Na odd. RDG uvedlo *ano* 37 klientů (74 %) a 13 klientů odpovědělo *ne* (26 %). Na odd. RTO označilo *ano* 42 klientů (84 %) a *ne* zaškrtnulo 8 klientů (16 %). Na odd. NM odpovědělo *ano* 45 klientů (90 %) a odpověď *ne* označilo 5 klientů (10 %).



Graf č. 9: znalost kontrolovaného pásma

Zdroj: vlastní výzkum

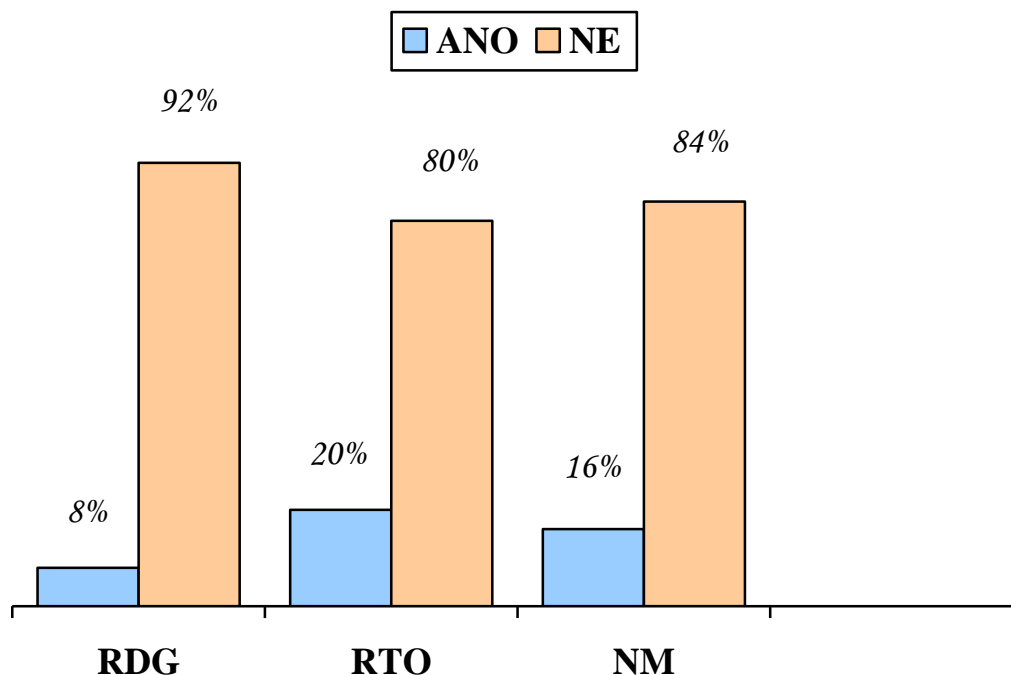
#### 4.10 Otázka č. 10: Byly Vám nabídnuty i jiné možnosti vyšetření?

Tabulka 13: nabídka jiné možnosti vyšetření

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
ANO	4	10	8
NE	46	40	42

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 16 a graf č. 10 uvádí, zda byla klientům nabídnuta i jiná možnost vyšetření. Na odd. RDG uvedli *ano* 4 klientů (8 %) a 46 klientů odpovědělo *ne* (92 %). Na odd. RTO označilo *ano* 10 klientů (20 %) a *ne* zaškrtnulo 40 klientů (80 %). Na odd. NM odpovědělo *ano* 8 klientů (16 %) a odpověď *ne* označilo 42 klientů (84 %).



Graf č. 10: nabídka jiné možnosti vyšetření

Zdroj: vlastní výzkum

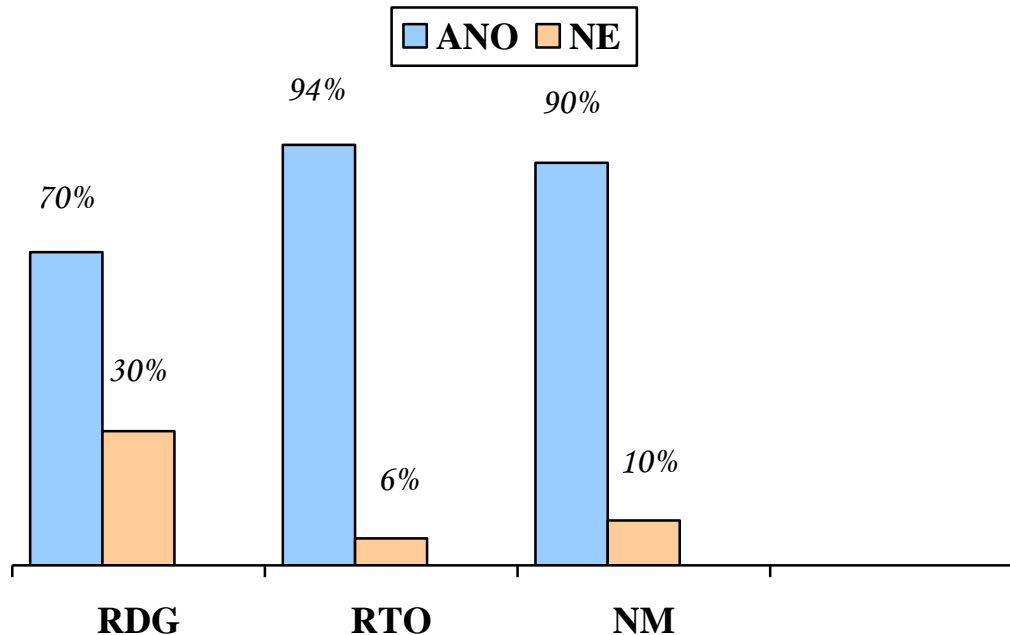
#### 4.11 Otázka č. 11: Byl Vám vysvětlen průběh vyšetření?

Tabulka 14: vysvětlení průběhu vyšetření

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
ANO	35	47	45
NE	15	3	5

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 17 a graf č. 11 uvádí, zda byl klientům vysvětlen průběh vyšetření. Na odd. RDG uvedlo *ano* 35 klientů (70 %) a 15 klientů odpovědělo *ne* (30 %). Na odd. RTO označilo *ano* 47 klientů (94 %) a *ne* zaškrtnli 3 klienti (6 %). Na odd. NM odpovědělo *ano* 45 klientů (90 %) a odpověď *ne* označilo 5 klientů (10 %).



Graf č. 11: vysvětlení průběhu vyšetření

Zdroj: vlastní výzkum

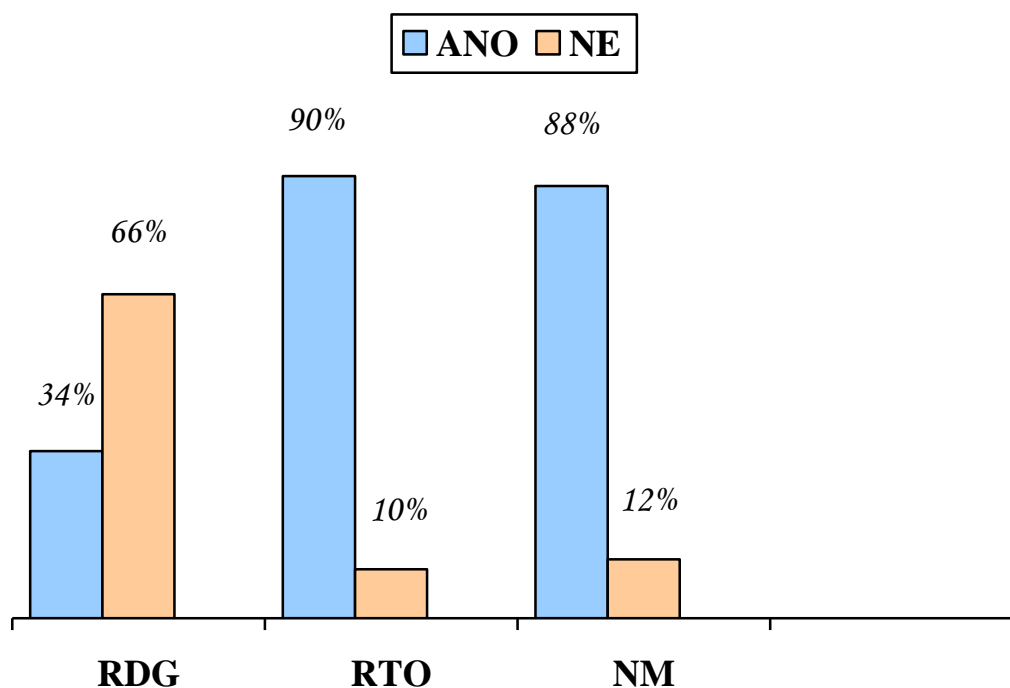
#### 4.12 Otázka č. 12: Četli jste si informovaný souhlas?

Tabulka 15: přechtení informovaného souhlasu

	RDG (n=50)	RTO (n=50)	NM (n=50)
ANO	17	45	44
NE	33	5	6

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 18 a graf č. 12 uvádí, zda si klienti přečetli informovaný souhlas o vyšetření. Na odd. RDG uvedlo *ano* 17 klientů (34 %) a 33 klientů odpovědělo *ne* (66 %). Na odd. RTO označilo *ano* 45 klientů (90 %) a *ne* zaškrtnulo 5 klientů (10 %). Na odd. NM odpovědělo *ano* 44 klientů (88 %) a odpověď *ne* označilo 6 klientů (12 %).



Graf č. 12: přechtení informovaného souhlasu

Zdroj: vlastní výzkum



#### 4.13 Otázka č. 13: Pokud jste v předchozí otázce odpověděli ANO - bylo to pro Vás srozumitelné?

*Tabulka 16: Byl informovaný souhlas srozumitelný?*

	<b>RDG (n=17)</b>	<b>RTO (n=45)</b>	<b>NM (n=44)</b>
<b>ANO</b>	<b>17</b>	<b>45</b>	<b>44</b>
<b>NE</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 19 uvádí, zda klienti, kteří uvedli v předešlé otázce ano, tj. že informovaný souhlas četli, rozuměli celému jeho obsahu. Na odd. RDG uvedlo *ano* 17 klientů (100 %). Na odd. RTO označilo *ano* 45 klientů (100 %). Na odd. NM odpovědělo *ano* 44 klientů (100 %). Na žádném oddělení nebyl nikdo, kdo by informovanému souhlasu nerozuměl.

## 5 Diskuze

Přímým a nejvíce sofistikovaným zdrojem informací je pro klienta dobře erudovaný odborný personál, který má zákonnou povinnost podrobně vysvětlit a zodpovědět klientovi případné dotazy. Je tedy i na pacientovi, aby si byl tohoto práva vědom a nepropadal jakémusi možná studu, ptát se na něco, čemu nerozumí. Této skutečnosti si můžeme všimnout zejména u starších lidí, kteří na jedné straně s lékaři příliš nediskutují, na druhé straně pak doma propadají různým obavám, jakým rizikům se vystavili. Někdy se začnou obracet ke svým známým, neodborným článkům i internetovým diskusím, kde mohou nabýt zkreslených představ o účincích IZ a dostat neadekvátních závěrů. To samozřejmě může ovlivnit psychiku klienta v důsledku přecenění, rizik. Na druhé straně může dojít i k podcenění rizik, což je nežádoucí zejména v případě pacientů aplikovaných radiofarmakem, propuštěných do domácí péče. V takovém případě je velmi důležitá informovanost jak klienta, tak dalších členů rodiny o dodržování kázně ve smyslu radiační hygieny pro zabránění vzájemné kontaminace vylučovaným radiofarmakem v domácím prostředí i na veřejnosti. Dobrou ideou je distribuce brožur a letáků do čekáren příslušných oddělení, neboť klient ho může nastudovat v době své přítomnosti ve zdravotnickém zařízení nebo si ho může vzít domů a připravit si případné dotazy pro svého odborného lékaře. Není však účelem klienty před vyšetřením vystrašit, ale naopak uklidnit je dostatkem informací. Dobře informovaný a poučený klient se chová klidněji, lépe spolupracuje a může tak předejít nežádoucí chybě při vyšetření, resp. následnému opakování expozice. Opakované ozáření je již považováno za nezdůvodněné a neplánované a nutno k němu přistoupit jako k radiologické události, která způsobila vyšší radiační zátěž klienta, než je nezbytně nutné pro získání přínosu. SÚJB a SÚRO ve společné spolupráci vydali informační letáky, které by měly být volně k dispozici v čekárnách zdravotnických zařízení. Konkrétně např. „Informace pro pacienta podstupujícího rentgenové (RTG) vyšetření, informace pro vyšetření těhotné ženy nebo dítěte“, „Desatero radiační ochrany pacientů při skioskopii“. Dále jako periodikum vychází Rentgen Bulletin, kde se přední odborníci zabývají aktuálními otázkami týkajícími se lékařského ozáření a

radiační ochrany. Tento Bulletin je dostupný na [www.suro.cz](http://www.suro.cz). Dále existuje mnoho knih a brožur zabývajících se touto problematikou, ty jsou však spíše publikovány spíše pro odborníky, přičemž laická veřejnost se v nich může hůře orientovat.

Předmětem zkoumání by mohla být otázka, kolik klientů si letáků a brožur ve zdravotnickém zařízení všimne a kolik jich má skutečně zájem být informován. Zajímavý by byl i primární předmět zkoumání, zda a kolik zdravotnických zařízení tyto letáky, které dostaly vytištěny v dostatečném množství od SÚJB, distribuovalo mezi pacienty a zda je vůbec umístili do čekáren příslušných oddělení. Tato podpora edukace klientů není povinná ze zákona, povinnost spočívá v provedení lékařského ozáření „pouze“ na základě informovaného souhlasu klienta. Lze se zamyslet i nad věrohodností odpovědí klientů, že porozuměli všem uvedeným informacím. Podpis klienta je bezesporu závazným souhlasem, to však ne vždy musí znamenat, že klient informovaný souhlas četl důkladně a všemu porozuměl. Všichni známe případy, kdy nějaký subjekt podepsal listinu, aniž by ji řádně dočetl nebo se stihl nad uvedeným dostatečně zamyslet.

Bylo by vhodné apelovat tedy nejen na stranu zdravotnických zařízení o poskytování všech relevantních a srozumitelných informací, ale obracet se i k veřejnosti, aby byla v tomto směru zodpovědná sama k sobě, vnímala problematiku radiační ochrany a dokázala zařadit míru rizika z lékařského ozáření mezi ostatní rizika, kterým jsme v běžném životě vystavováni.

V tomto směru opět odkazují na stránky [www.sujb.cz](http://www.sujb.cz), kde je pro veřejnost zřízen vstup do ikony Styk s veřejností/Konference, prostřednictvím které může kdokoliv klást otázky k problematice radiační ochrany, nebo jiné související oblasti SÚJB. Nejčastějšími dotazy, které tak lze najít jsou: RTG a CT během těhotenství, RTG a CT u dětí, Časté rentgenování, Pracovníci se zdroji ionizujícího záření a gravidita, Zdroje ionizujícího záření, Dotazy k dávkám ionizujícího záření, Problematika RTG-Hi-scannerů atd.

Výsledky shrnuté v závěru práce podávají orientační přehled o tom, jaká je v současné době situace týkající se informovanosti klientů. Je zřejmé, že se vyskytují rozdíly v informovanosti mezi klienty RDO, RTP a NM. To je pravděpodobně dáno i

radiační zátěží a s tím spojenými riziky, které lze v případě RTP a NM považovat za vyšší, než v případě dávek obdržných rentgenovým vyšetřením. S tím souvisí i povinnost odborníka podat rozsáhlejší a podrobnější informace klientovi, stejně tak jako potřeba, ochota a zájem býti informován samotného klienta.

K podrobnějším závěrům, které by mohly být předmětem dalšího zkoumání, by bylo zapotřebí analyzovat korelace a souvislosti např. mezi věkem, vzděláním, diagnózou (indikací), četností vyšetření, typem ozáření a různorodostí odpovědí týkajících se informovanosti klientů. Lze předpokládat, že jisté rozdíly by se mohly najít nejen v jednotlivých oblastech lékařského ozáření, ale i ve věkových kategoriích. Přínosné a statisticky významnější by bylo získat data z většího počtu lékařských zařízení různého typu, resp. porovnat výsledky mezi nimi. Není však cílem této práce provést přesnou analýzu závislosti informovanosti na jednotlivých faktorech, nýbrž primárně zjistit, zda je informování klientů ve zdravotnických zařízeních vůbec prováděno, do jaké míry a zda klienti informacím rozumí. Rozdílná informovanost na jednotlivých pracovištích (RDG, RTP a NM) byla do jisté míry očekávána.

## 6 Závěr

Ve své bakalářské práci na téma „Informovanost klientů oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny o ionizujícím záření“ jsem v teoretické části práce podala přehled informací o ionizujícím záření, jeho zdrojích a jeho využití v radiodiagnostice, radioterapii a nukleární medicíně. Nedílnou součástí je téma radiační ochrany před ionizujícím zářením a hlavní principy radiační ochrany. Hlavním zdrojem informací v této části byla odborná literatura a internetové stránky.

V praktické části této práce jsem se zaměřila na získání údajů o informovanosti klientů o IZ, jeho účincích a informovanosti o průběhu vyšetření či léčby využívající lékařské ozáření. Ke zpracování tohoto tématu jsem vytvořila dotazník pro klienty odd. RDG v Nemocnici Český Krumlov, a.s., odd. RTO v Nemocnici České Budějovice, a.s., a odd. NM ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady. Na vyplnění se podílelo 150 klientů. Vyplnění probíhalo dobrovolně a zcela anonymně.

První tři otázky dotazníku byly zaměřeny k bližší specifikaci výzkumného souboru. Zastoupení muž/žena bylo přibližně 1:1, převládala věková kategorie 18-65 let (64 %) a nejpočetnější vzdělání klientů je SŠ s maturitou. Další otázka se týkala frekvence radiologického vyšetření či radioterapeutické léčby. Odlišnost v četnosti (míněno jednorázové či opakované lékařské ozáření) je daná příslušným oborem. Lze říci, že u radioterapeutické léčby je četnost opakování vyšší než u diagnostického lékařského ozáření. Je však nutno vzít v úvahu, že radioterapeutické ozáření zahrnuje i četné diagnostické ozáření v průběhu plánování léčby, což klienti zřejmě nezapočítali. Pro celkové hodnocení informovanosti klientů to však nehraje významnou roli. Bylo zjišťováno, zda jsou klienti navštěvující radiologická oddělení seznámeni s účinky ionizujícího záření a spojenými riziky. Výsledky ukázaly vysoké povědomí o rizicích spojených s aplikací IZ. Otázka, která se zabývala tím, kdo odeslal klienta k vyšetření či léčbě, nepoukazuje na informovanost klienta o účincích IZ, ale doplňuje obdržena data o to, kdo je indikujícím lékařem. V neposlední řadě bylo zjišťováno, zda si klienti sami

vyhledávali informace o IZ. Nejvíce se o IZ zajímali klienti navštěvující radioterapeutické oddělení.

Stanovený cíl, analyzovat rozdíl ve znalostech problematiky IZ u klientů před radiologickým vyšetřením či léčbou na odd. RDG, odd. RTO a odd. NM, byl splněn. Hodnocení získaných údajů bylo provedeno pomocí tabulek a grafů uvedených v kapitole č. 4 Výsledky, a to na základě vyplněných dotazníků klienty.

Položená výzkumná otázka, zda jsou u klientů na odd. RDG, odd. RTO a odd. NM srovnatelné znalosti o IZ“, byla po zpracování dotazníků zodpovězena. 80-90% klientů navštěvujících oddělení radioterapie a nukleární medicíny za účelem lékařského ozáření má jisté povědomí o IZ a jeho účincích. Poněkud menší je informovanost na oddělení radiodiagnostických, využívajících rentgenové zobrazení. Na základě výsledků průzkumu lze říci, že klienti jsou informováni a to na základě četby informovaných souhlasů k dané aplikaci IZ, respektive konzultace s příslušným odborníkem, dále i prostřednictvím internetu. Předkládané informované souhlasy klientům mohou být dle jejich odpovědí považovány za dostatečně srozumitelné. Žádný klient, který četl informovaný souhlas neodpověděl, že by uvedeným skutečností neporozuměl.

## 7 Seznam informačních zdrojů

- [1.] KLENER, Vladislav. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Editor Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000, 619 s. ISBN 8023837036.
- [2.] VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA a Jiří KOZÁK. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty: učební text*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, 160 s., ISBN 978-80-244-3126-0
- [3.] NEKULA, Josef, Jana CHMELOVÁ. *Vybrané kapitoly z konvenční radiologie*. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2005, 97 s., ISBN 80-7368-057-2
- [4.] SPURNÝ, Vladimír, Pavel ŠLAPA. *Moderní radioterapeutické metody. Díl VI., základy radioterapie*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1999, 118 s., ISBN 80-7013-267-1
- [5.] ZÁŠKODNÝ, Přemysl. *Survey of principles of theoretical physics: with application to radiology*. 1. vyd. Luzern: Avenir 2006, 317 s., ISBN: 80-902491-9-1
- [6.] § 3 písm. e vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [7.] § 3 písm. a vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [8.] § 3 písm. b vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [9.] ICRP PUBLICATION 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP 2007* [online]. [cit.

2015-01-15]. Dostupné z:

<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>

- [10.] § 73 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [11.] § 77 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [12.] § 4 odst. 12 zákona č. 18/1997 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, ve znění pozdějších předpisů
- [13.] § 16 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [14.] HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
- [15.] KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL KUPKA a kol. *Nukleární medicína: [učební text]*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s., ISBN 978-80-903584-9-2
- [16.] § 24 odst. 1 písm. i vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [17.] § 11 odst. 1 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [18.] § 30 odst. 1, 2, 5, 6 a 7 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [19.] § 29 odst. 1 a 2 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.



- [20.] § 2 odst. 2 písm. k, l a m zákona č. 18/1997 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, ve znění pozdějších předpisů
- [21.] § 2 vyhlášky č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, ve znění 2/2004
- [22.] § 5 vyhlášky č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, ve znění 2/2004
- [23.] HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*, Brno, 1998. ISBN 80-85615-56-8.
- [24.] KUNA, Pavel, Leoš NAVRÁTIL. *Klinická radiobiologie*, 1. vyd. Praha: Manus, 2005, 222 s., ISBN 80-86571-09-2
- [25.] § 4 odst. 2 a 3 zákona č. 18/1997 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, ve znění pozdějších předpisů
- [26.] MATZNER, Jan. *Radiační ochrana: doplňkové texty*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2011, 46 s.
- [27.] § 1 zákona č. 18/1997 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, ve znění pozdějších předpisů
- [28.] § 1 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.
- [29.] § 1 vyhláška č.132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd ve znění zákona č. 13/2002 Sb. a zákona č. 253/2005 Sb.

- [30.] § 7 zákona č. 18/1997 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, ve znění pozdějších předpisů a § 70 až 82 zákona č. 373/2011, o specifických zdravotnických službách, ve znění pozdějších předpisů
- [31.] SINGER, Jan a Jindřiška HEŘMANSKÁ. *Principy radiační ochrany*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004, 111 s., ISBN 80-7040-7085.
- [32.] ICRP 1995b
- [33.] ŠIFFNEROVÁ, Hana. *Radioterapie I.: doplňkové texty*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2007, 21 s.
- [34.] DOLEČKOVÁ, Miluše. *Radioterapie III.: doplňkové texty*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2007, 16 s.
- [35.] PETERA, Jiří. *Moderní radioterapeutické metody. Díl V., brachyterapie*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1998, 33 s., ISBN 80-7013-266-3
- [36.] Dostupné z: <http://www.amedis.cz/produkt/linearni-urychlovac-truebeam-36/>
- [37.] ŠIFFNEROVÁ, Hana. *Radioterapie II.: doplňkové texty*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2007, 8 s.
- [38.] LANG, Otto. *Nukleární medicína I.: základní znalosti*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1998, 52 s. ISBN 80-7184-721-6.
- [39.] KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.
- [40.] § 65 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. a vyhlášky č. 389/2012 Sb.

## 8 Přílohy

Příloha č. 1

### Struktura dotazníku

Vážená paní, vážený pane,

jsem studentka 3. ročníku bakalářského studia na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích, obor radiologický asistent. Prosím Vás o spolupráci vyplněním tohoto dotazníku. Dotazník je zcela anonymní a poslouží pouze pro vypracování mé bakalářské práce. Téma práce je: *Informovanost klientů oddělení radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny o ionizujícím záření*. Prosím zaškrtněte všechny otázky.

Děkuji za spolupráci

Kateřina Brtnová

1) Pohlaví:

- Muž
- Žena

2) Věk

- Pod 18 let (zákonný zástupce)
- 18 – 65 let
- Nad 65 let

3) Vzdělání

- Základní
- Vyučen(a)
- Střední s maturitou
- Bakalářské
- Magisterské

4) Vyšetření je:

- Jednorázové

- Opakované

5) Víte, že je ionizující ("rentgenové") záření škodlivé?

- ANO
- NE

6) Na vyšetření jste byl(a) poslán(a):

- Obvodním lékařem
- Z oddělení

7) Zjišťovali jste si nějaké informace o ionizujícím záření?

- ANO
- NE

8) Víte, co znamená tento znak?



- ANO
- NE

9) Víte, že existuje kontrolované pásmo?

- ANO
- NE

10) Byly Vám nabídnuty i jiné možnosti vyšetření?

- ANO
- NE

11) Byl Vám vysvětlen průběh vyšetření?

- ANO
- NE

12) Četli jste si informovaný souhlas?

- ANO
- NE

13) Pokud jste v předchozí otázce odpověděli **ANO** - bylo to pro Vás srozumitelné?

- ANO
- NE

## Příloha č. 2

### Před vyšetřením

#### Z vyšetření nemějte obavy

- RTG zobrazovací postupy jsou standardizovány.
- RTG zařízení prochází ze zákona pravidelnými technickými kontrolami.

#### Informujte lékaře

- o RTG vyšetřeních, která jste v posledním roce absolvoval(a), a to i v jiných zdravotnických zařízeních – zabrání se tím zbytečnému opakování vyšetření
- o případném těhotenství



#### Při vyšetření

- Respektujte pokyny aplikujících odborníků (lékařů a radiologických asistentů).
- Při použití ochranných stínících prostředků (zástěry, ochranného límce na štítnou žlázu, ochranných pomůcek na pohlavní orgány) spolupracujte se zdravotnickým personálem.



#### RTG vyšetření těhotné nebo dítěte

- Vyšetření dětí a těhotných se věnuje větší pozornost a to především proto, že vyvíjející se organismus je k rentgenovému záření citlivější než organismus dospělého.
- Pokud je nezbytné provést vyšetření u těhotné pacientky, vždy se zvažují podmínky vyšetření.
- U většiny běžně prováděných vyšetření (příče, končetiny, hlava, krční páteř, atp.) jsou dávky záření v děloze za nedbatelné.
- V případě vyšetření v oblasti pánve a u náročnějších výkonů je možné stanovit individuální dávku a z ní plynoucí riziko.

### Riziko ozáření

- Lékařská vyšetření a léčebné postupy jsou spojeny s určitou možností nepříznivých průvodních účinků.
- U RTG vyšetření je tímto nepříznivým účinkem možné zvýšení pravděpodobnosti vzniku rakoviny v průběhu života, které je úměrné velikosti „obdržené“ dávky. Proto není vhodné FTG vyšetření vyžadovat z vlastní iniciativy a podstupovat jej zbytečně, když to není nutné.
- Jen lékař může rozhodnout, zda je vyšetření nezbytné. Pak je riziko spojené s jeho provedením vždy menší než riziko důsledků spojených s jeho neprovedením.
- Zcela výjimečně (při velkých dávkách) by mohlo nastat bezprostřední poškození ozářených tkání.
- Technické podmínky každého FTG vyšetření jsou nastaveny tak, aby dávka pacientovi byla co nejmenší.



- K porovnání rizika ozáření je možné použít obrázek na další straně.

## Desatero radiční ochrany **pacientů** při skiaskopii

Snížení dávek pacientovi vede vždy ke snížení dávek personálu

---

**6. Snímkování objemnějších pacientů nebo silnějších částí těla vede ke zvýšení vstupní povrchové dávky**

vstupní povrchová dávka: 1 jednotka    2-3 jednotky    4-6 jednotek    8-12 jednotek

---

$h_1 < h_2 < h_3$

**7. Šikmé projekce také zvyšují vstupní povrchovou dávku**

Vysoké vstupní povrchové dávky by mohly vést až k poškození kůže

---

**8. Zvětšení používejte s rozvahou, obvykle zvyšuje vstupní povrchovou dávku**

Informace o změně dávky se změnou zvětšení jsou uvedeny v protokolech přijímací zkoušky a zkoušek dlouhodobé stability

---

**9. Minimalizujte délku a počet skiagrafičeských sekvencí na klinicky přijatelnou úroveň**

Pokud je to možné, měl by být záznam proveden z již provedeného snímku

Využijte funkce „last image hold“

---

**10. Kolimujte RTG svazek pouze na oblast zájmu**

Snížíte tak dávku jak pacientovi tak personálu a zlepšíte kvalitu zobrazení

---

Více informací na:  
 český: <http://www.sujb.cz>, <http://www.suro.cz>  
 anglický: <http://www.iaea.org>, <http://www.traumapainby.com>

Strana 2 z 2  
 Skiaskopie  
 Pravidelné odměny pacientů





## **Seznam obrázků**

Obrázek 1: schéma znázornění rentgenky

Obrázek 2: schéma betatronu

Obrázek 3: schéma cyklotronu

Obrázek 4: grafické vyjádření stochastických (a) a deterministických účinků (b)

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1: doporučené radiační váhové faktory dle ICRP 103

Tabulka 2: základní limity stanovené vyhláškou č. 307/2002

Tabulka 3: přehled efektivních dávek některých diagnostických vyšetření v nukleární medicíně s uvedením radiofarmak (včetně jejich aktivit) a diagnostických referenčních úrovní (DRÚ)

Tabulka 4: zastoupení pohlaví

Tabulka 5: zastoupení věkových kategorií

Tabulka 6: nejvyšší dosažené vzdělání

Tabulka 7: četnost vyšetření

Tabulka 8: Je IZ škodlivé?

Tabulka 9: kdo klienta na vyšetření odeslal

Tabulka 10: vlastní vyhledávání informací o IZ

Tabulka 11: znalost symbolu pro radioaktivitu

Tabulka 12: znalost kontrolovaného pásma

Tabulka 13: nabídka jiné možnosti vyšetření

Tabulka 14: vysvětlení průběhu vyšetření

Tabulka 15: přečtení informovaného souhlasu

Tabulka 16: Byl pro vás informovaný souhlas srozumitelný?

## **Seznam grafů**

Graf 1: zastoupení pohlaví

Graf 2: zastoupení věkových kategorií

Graf 3: nejvyšší dosažené vzdělání

Graf 4: četnost vyšetření

Graf 5: Je IZ škodlivé?

Graf 6: kdo klienta na vyšetření odeslal

Graf 7: vlastní vyhledávání informací o IZ

Graf 8: znalost symbolu pro radioaktivitu

Graf 9: znalost kontrolovaného pásma

Graf 10: nabídka jiné možnosti vyšetření

Graf 11: vysvětlení průběhu vyšetření

Graf 12: přečtení informovaného souhlasu