

Vysoká škola zdravotnická, o. p. s., Praha 5

**PRÁVNÍ ÚPRAVA POSKYTOVÁNÍ
RADIODIAGNOSTICKÝCH A
RADIOTERAPEUTICKÝCH
SLUŽEB V ČR**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Svatava Trtíková, DiS

Praha 2015

Vysoká škola zdravotnická, o. p. s., Praha 5

**PRÁVNÍ ÚPRAVA POSKYTOVÁNÍ
RADIODIAGNOSTICKÝCH A
RADIOTERAPEUTICKÝCH
SLUŽEB V ČR**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Svatava Trtíková, DiS

Stupeň vzdělání: bakalář

Název studijního oboru: Radiologický asistent

Vedoucí práce: MUDr. Petra Holečková, MBA

Praha 2015



VYSOKÁ ŠKOLA ZDRAVOTNICKÁ, o. p. s.
se sídlem v Praze 5, Duškova 7, PSČ 150 00

Trtíková Svatava
3. A RA

Schválení tématu bakalářské práce

Na základě Vaší žádosti ze dne 27. 3. 2014 Vám oznamuji
schválení tématu Vaší bakalářské práce ve znění:

Právní úprava poskytování radiodiagnostických a radioterapeutických
služeb v ČR

*Legal Standards of Providing Radiodiagnostics and Radiotherapeutic
Services in the Czech Republic*

Vedoucí bakalářské práce: MUDr. Petra Holečková

V Praze dne: 3. 11. 2014


doc. PhDr. Jitka Němcová, PhD.
rektorka

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně a všechny použité zdroje literatury jsem uvedla v seznamu použité literatury.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své bakalářské práce ke studijním účelům.

V Praze dne 30.4.2015

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí mé práce MUDr. Petře Holečkové, MBA za poskytnuté cenné rady, trpělivost a odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

ABSTRAKT

Trtíková, Svatava. Právní úprava poskytování radiodiagnostických a radioterapeutických služeb v ČR. Vysoká škola zdravotnická, o.p.s. Stupeň kvalifikace: Bakalář (Bc). Vedoucí práce: MUDr. Holečková Petra, MBA. Praha. 2015. 40 s.

Cílem mé bakalářské práce na téma Právní úprava poskytování radiodiagnostických a radioterapeutických služeb v ČR v několika logicky dělených blocích stručně a výstižně předložit základní a nezbytné informace o radiaci, RTG záření a jeho škodlivých účincích na lidské tělo a zdraví. Z tohoto důvodu následně i logická nutnost vzniku a dodržování právní úpravy pro vyžádané a opodstatněné poskytnutí RTG služeb ve zdravotnictví, ve spojení s radiační zátěží.

Problematika legislativy jako takové, je v dnešní době téma dost aktuální, a bohužel také velmi oblíbené téma mediální, nejen ve zdravotnictví.

Profese a práce a činnost radiologického asistenta (dříve laboranta) naprosto nekompromisně souvisí se striktními a jednoznačně definovanými pravidly radiační ochrany. Bez diskuse je nutné chránit jak pacienty, tak personál samotný. Nezbytná je tvorba a existence přesně definovaných a aktualizovaných standardů na všech typech pracovišť, a to jak pro každý RTG a Rthp přístroj, tak i pro každý typ vyšetření. Obojí v souladu s Atomovým zákonem a se zákonem č. 372/2011 Sb.

Klíčová slova: historie RTG, rentgen, kontrastní látky, RTG záření, radiodiagnostika, raditerapie, Atomový zákon, práva a povinnosti pacientů, informovaný souhlas

ABSTRACT

Trtíková, Svatava. Legal standards of providing radiodiagnostics and radiotherapeutic services in the Czech republic. College of Nursing, o.p.s. Level of Qualification: Bachelor (Bc). Supervisor: MD. Holečková Petra, MBA. Praha. 2015. 40 p.

The aim of my thesis on the topic Legal standards of providing radiodiagnostics and radiotherapeutic services in the Czech republic logically divided into several blocks concisely present basic and essential information on radiation X-ray radiation and its harmful effects on the human body and health. For this reason, consequently logical necessity of making and compliance rules for requesting and providing justification RTG health services, in conjunction with radiation burden.

Legislation as such, is nowadays quite current topic, and unfortunately very popular media topic, not only in health care.

Profession and work and activities of radiology assistant (formerly technician) absolutely uncompromisingly strict and uniquely related to defined rules of radiation protection. Without discussion is necessary to protect patients and staff itself. Essential is the formation and existence of precisely defined and revised standards for all types of workplaces, both for each ray and RTHP device, and for each type of examination. Both in accordance with the Atomic Act and Act no. 372/2011 Coll.

Keywords: history, X-ray, X-ray, contrast agents, X-ray, radiology, raditerapie, Atomic Act, the rights and obligations of patients, informed consent

OBSAH

ÚVOD	4
1 HISTORIE RDG	5
2 POJEM RADIACE	7
2.1 Radioaktivita přirozená.....	10
2.2 Radioaktivita umělá	11
3 OBJEVENÍ RADIOAKTIVITY – OSOBNOSTI	12
4 DRUHY RADIOAKTIVNÍHO ZÁŘENÍ – DEFINICE.....	14
4.1 Záření alfa.....	14
4.2 Záření beta	15
4.3 Záření gama	15
5 PŘÍSTROJE RADIODIAGNOSTICKÉ.....	17
6 PŘÍSTROJE RADIOTERAPEUTICKÉ.....	21
7 BIOLOGICKÉ ÚČINKY NA LIDSKÉ ZDRAVÍ.....	25
7.1 Účinky deterministické.....	27
7.2 Účinky stochastické	29
8 PRINCIPY RADIČNÍ OCHRANY – ALARA	33
9 ATOMOVÝ ZÁKON - ZÁKON Č. 18/1997 SB.	35
10 ZÁKON Č. 372/2011 SB.	38
11 PRÁVA A POVINNOSTI PACIENTŮ.....	41
12 INFORMOVANÉ SOUHLASY	44
DISKUSE.....	47
ZÁVĚR.....	48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
SEZNAM GRAFŮ	51

SEZNAM TABULEK.....	52
---------------------	----

ÚVOD

Dnešní moderní společnost vyžaduje neustále se zvyšující požadavky na společenskou míru ochrany populace, bezpečnost pracovního prostředí a pracovníků, včetně ochrany životního prostředí, a to jak z obecného hlediska, tak ve vztahu k ionizujícímu záření, které představuje určitá (v mnoha případech také velmi závažná) zdravotní rizika. Ionizujícího záření se v současné době využívá v celé řadě odvětví. Významnou úlohu představuje ionizující záření v lékařství – zvláště v radiodiagnostice a radioterapii, dále pak v nukleární medicíně. Právě radiologie (radiodiagnostika a radioterapie) proběhla z pohledu historie významným vývojem. Ionizující záření používané v radiodiagnostice vzniká v tzv. rentgence, a to dopadajícími rychle letícími elektrony z katody na anodu. Jedná se o elektromagnetické vlnění o krátké vlnové délce. Tohoto záření využívá rovněž radioterapie. Kromě něj však používá také záření vznikající rozpadem přirozeně radioaktivních prvků (příkladně radia) či umělých radioaktivních izotopů (kupříkladu izotopu kobaltu či cesia). Takové záření je daleko pronikavější. V současné době se v radiodiagnostice a v radioterapii využívá velkého množství nejrůznějších metod. Z radiodiagnostických zobrazovacích vyšetřovacích metod lze uvést především snímkování (tj. skiografii, skiaskopii), výpočetní / počítačovou tomografii, rentgeny používané ve stomatologické praxi (tzv. zubní rentgeny) a mnoho dalších. K významným radioterapeutickým metodám patří v současnosti kobaltové a cesiové ozařovače, Leksellův gama nůž, cyklické (tj. betatron a cyklotron) a lineární urychlovače částic, automatické afterloadingové přístroje v brachyterapii a jiné. Ionizující záření je charakteristické biologickými účinky na živou tkáň. Z tohoto důvodu je tohoto záření využíváno k terapeutickým účelům. Nelze však opomenout škodlivé účinky ionizujícího záření deterministického a stochastického charakteru, která mohou být příčinou celé řady závažných poškození lidského zdraví.

Tato má práce na téma „Právní úprava radiodiagnostických a radioterapeutických služeb v ČR“ se zabývá problematikou radiodiagnostických a radioterapeutických služeb v podmínkách České republiky z pohledu právní úpravy těchto služeb.

1 HISTORIE RDG

Historie radiologie sahá až do roku 1895, kdy Wilhelm Conrad Röntgen při výzkumu katodového záření objevil rentgenové záření (X záření). Objev rentgenového záření tomuto fyzikovi zaručil jako prvnímu udělení Nobelovy ceny. Protože objev rentgenového záření nebyl patentován, došlo k jeho prudkému rozšíření. Rentgenových paprsků tak bylo využíváno po celém světě. Prvním pořízeným rentgenovým snímkem byla ruka manželky W. C. Röntgena. Na českém území (konkrétně v Praze) disponoval prvním rentgenovým přístrojem majitel kavárny s názvem „U Černého koně“ pan Cívka, jenž svým výsadním zákazníkům vystavoval snímky, aby věděli, jak vypadá jejich kosterní aparát. Rentgenových lamp bylo využíváno při představeních nejrůznějších jasnovidců. Z diváckého publika byli vybráni figuranti, u nichž se prostřednictvím rentgenového záření zjišťovalo, co mají v kapsách. Publikum tak hádalo obsahy jejich kapes. V té době nebyly o škodlivosti ionizujícího záření ani potuchy. Ještě v 1. polovině 20. století nebyly ze strany lékařských pracovníků pracujících s rentgenovým zářením používány žádné ochranné pomůcky. Rovněž z jejich strany nebyla dodržována ani hygiena ochrany ionizujícího záření. Právě z těchto důvodů se u těchto pracovníků nezdávka objevovaly chronické dermatitidy na vystavených částech kůže rentgenovému záření. Rovněž byl u těchto pracovníků zaznamenán větší výskyt nádorových onemocnění. V 1. polovině 20. století se rozmáhala skiaskopická vyšetření. Došlo k objevu prvních pozitivních kontrastních látek, které zvyšovali absorpci rentgenového záření. Těchto kontrastních látek bylo využíváno především v diagnostice onemocnění gastrointestinálního traktu. Objeveny byly rovněž negativní kontrastní látky v podobě nejrůznějších plynů, jež naopak snižovaly absorpci rentgenového záření, než tkáň v lidském těle. Následujících 40 let se v oboru neuroradiologie uplatňovala pneumoencefalografie. Při této metodě docházelo k aplikaci vzduchu do mozkových komor po předešlé lumbální punkci. První takový zákrok byl proveden neurochirurgem Dandym pocházejícím ze Spojených států amerických v roce 1919. Ve 40. letech 20. století byla prvně aplikována perimyelografie. Jednalo se o aplikaci olejové kontrastní látky do páteřního kanálu¹. Touto metodou byla umožněna diagnostika patologických procesů páteřního kanálu, herniace disků,

¹ SEIDL, Zdeněk, BURGETOVÁ, Andrea, HOFFMANNOVÁ, Eva, MAŠEK, Martin, VANĚČKOVÁ, Manuela, VITÁK, Tomáš. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada Publishing a. s., 2012. 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6, s. 17.

onkologických, zánětlivých a jiných onemocnění. Pro 1. polovinu 20. století je také charakteristický rozvoj angiografických vyšetření. V 60. letech tohoto století byla zavedena tzv. Seldingerova metoda. Tato metoda spočívala v katetrizaci dílčích cév po punkci stehenní tepny (latinsky *arteria femoralis*). Toto umožnilo selektivní zobrazení těchto cév. V 90. letech 20. století se pak prováděly endovaskulární terapeutické úkony (kupříkladu terapie cévních malformací embolizací tzv. lepidly, zavedení spirály z kovu do výdutě dutého orgánu či stěnů do zúžených cév). V 70. letech 20. století byla rozšířena ultrasonografická vyšetření, a to především pro finančně nenáročnou a neinvazivní metodu bez kontraindikací. Velice významným radiodiagnostickým objevem byl objev počítačové tomografie roku 1971. O ten se zasloužil G. N. Hounsfield. Stejný objev byl učiněn Allanem McLeodem Cormackem ze Spojených států amerických. Oba získali za objev počítačové tomografie roku 1979 Nobelovu cenu. Na původním konvenčním přístroji počítačové tomografie trvalo vyšetření jedné oblasti téměř 20 minut. V současné době se vyšetření hrudníku nebo břicha provádí počítačovou tomografií do několika desítek sekund. V 80. letech 20. století byla zprovozněna magnetická rezonance, která byla přínosná v diagnostice onemocnění mozkové tkáně (především bílé mozkové hmoty), míšních struktur, kloubů apod. Magnetická rezonance již nepředstavovala riziko ionizačního záření. V diagnostice nádorových a zánětlivých onemocnění se dále uplatnila pozitronová emisní tomografie².

² SEIDL, Zdeněk, BURGETOVÁ, Andrea, HOFFMANNOVÁ, Eva, MAŠEK, Martin, VANĚČKOVÁ, Manuela, VITÁK, Tomáš. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada Publishing a. s., 2012. 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6, s. 17 – 18.

2 POJEM RADIACE

Pojmem „radiace“ neboli „záření“ se z obecného hlediska rozumí „procesy, při nichž dochází k přenosu energie prostorem „na dálku“ prostřednictvím fyzikálních polí nebo mikročástic“³. Lze rozlišit několik druhů záření, primárně vlnění a korpuskulární neboli částicové záření (tj. záření alfa a beta, elektromagnetické, kosmické, reliktní, sluneční a světelné záření)⁴. S ohledem na téma podkladů je nejpodstatnější elektromagnetické záření. Jedná se o vyzařování a šíření energie v podobě periodických vln elektrického a magnetického pole se schopností jejich šíření také ve vakuu. Elektromagnetické záření vzniká kupříkladu při procesu urychlování nabitých elementárních částic. Na základě širokého spektra vlnových délek je možné rozpoznat několik druhů elektromagnetického záření:

- rádiové vlny – dlouhé (záření s největší vlnovou délkou a nejmenší frekvencí a energií), střední, krátké a velmi krátké vlny,
- tepelné záření – mikrovlny, infračervené, viditelné a ultrafialové světlo,
- rentgenové záření – rentgenové záření, (ultra) gama záření (tj. záření s největší frekvencí a energií), kosmické záření⁵.

Rovněž lze hovořit o neionizujícím a ionizujícím záření. Neionizujícím zářením se rozumí již zmiňované radiové vlny (tzv. technické vlny – rozhlasové a televizní vlny s vlnovou délkou 10^4 až 10^{-2} m) a tepelné záření (mikrovlny s vlnovou délkou 10^{-2} až 10^{-4} m, infračervené záření, viditelné světlo s vlnovou délkou 400 až 750 nm a ultrafialové záření s vlnovou délkou 400 až 100 nm (UV-A o vlnové délce 400 až 315 nm, UV-B o vlnové délce 315 až 280 nm a UV-C o vlnové délce 280 až 100 nm)). Vzhledem k tématu podkladů je pozornost dále věnována zmiňovanému ionizujícímu záření. Ionizující záření je možné definovat jako „záření, jehož kvanta mají natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony

³ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 6.

⁴ FUKÁTKO, Tomáš. *Detekce a měření různých druhů záření*. Praha: BEN - technická literatura, 2007. 189 s. ISBN 978-80-7300-1, s. 9 – 16.

⁵ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

z atomového obalu, a tím látku ionizovat“⁶. Ionizující záření je průvodním jevem jaderných procesů a procesů probíhajících v elektronovém obalu (v případě rentgenového záření). Při takových procesech se jádro či obal atomu dostává do excitovaného stavu, což způsobuje jeho energetickou nestabilitu. Stabilním se stává vyzářením energie v podobě částic či fotonů elektromagnetického záření. Dle konkrétních mechanismů vzájemného působení záření s hmotou je možné ionizující záření rozdělit následovně:

- přímo ionizující záření:

Jedná se o záření tvořené elektricky nabitými částicemi (tj. elektrony, pozitrony, protony, α a β částicemi) s dostatečnou kinetickou energií k vyvolání ionizace⁷. Přímo ionizujícím zářením je např. α záření, β^- (elektronové záření) a β^+ (pozitronové záření) záření či protonové záření p^+ ⁸.

- nepřímo ionizující záření:

Nepřímo ionizující záření je tvořeno elektricky nenabitými částicemi (tj. fotony a neutrony), jež samy o sobě nezpůsobují ionizaci. Při vzájemném působení s prostředím však dochází k uvolnění sekundárních přímo ionizujících částic, které způsobují ionizaci⁹. Příkladem nepřímo ionizujícího záření může být fotonové záření rentgenové, záření γ nebo neutronové záření¹⁰.

Dle hustoty ionizace lze ionizující záření dále rozdělit na řídké ionizující (rentgenové záření, záření β a γ) a hustě ionizující (α záření, neutronové a protonové záření). Dalším druhem

⁶ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 7.

⁷ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

⁸ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 8.

⁹ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

¹⁰ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 8.

ionizujícího záření je záření korpuskulární a vlnové. Rozdíl mezi těmito dvěma zářeními je dán klidovou hmotností m_0 . Korpuskulární ionizující záření představuje proud hmotných částic, které se pohybují menší rychlostí, než je rychlost světla. Jejich existence je zachována i po zastavení pohybu. Jedná se o částice s nenulovou klidovou hmotností (jejich klidová hmotnost je větší, než nula) ¹¹. Dle hmotnosti se částice dělí na těžké (α částice, protony a neutrony), středně těžké (mezony) a lehké (elektrony a pozitrony) ¹². Korpuskulárním ionizujícím zářením je α , β^- a β^+ záření, protonové záření p^+ , proud deuteronů a těžších jader, neutronové záření n^0 , neutrinové záření ν , μ -mezonové záření, π -mezonové záření a další. Klidová hmotnost částic vlnového ionizujícího záření je nulová. Tyto částice se pohybují rychlostí světla. Zastavením jejich pohybu dojde k odevzdání veškeré jejich energie a jejich zániku. Vlnovým ionizujícím zářením je elektromagnetické záření (fotony) a gravitační vlny (gravitony) ¹³. Dalším druhem ionizujícího záření je fotonové záření. Jedná se o ionizující záření duální povahy. To znamená, že záření disponuje vlastnostmi elektromagnetického vlnění a vlastnostmi částic s nulovou klidovou hmotností. Lze rozlišit γ fotonové záření a rentgenové záření. Rozdíl v těchto zářeních spočívá ve vlnové délce, ve skutečnosti vzniku γ záření v atomovém jádře a ve skutečnosti vzniku rentgenového záření vzájemným působením elektronu s těžkými atomy ¹⁴. Kromě již zmiňovaných druhů ionizujícího záření je možné uvést také další druhy – zejména záření těžších iontů, mionové μ^+ a μ^- záření, pionové π^+ a π^- záření nebo antiprotonové záření ¹⁵.

¹¹ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 8 – 9.

¹² SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

¹³ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 9.

¹⁴ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

¹⁵ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 9.

Radioaktivitou se rozumí jev, při němž dochází k samovolnému rozpadu, přeměně či změně energetického stavu nestabilních jader na jádra jiných prvků za vzniku ionizujícího záření. Účelem radioaktivní přeměny je dosažení stabilního stavu atomu. Lze rozlišit radioaktivitu přirozenou a umělou – viz následující podkapitoly 2.1 a 2.2.

2.1 Radioaktivita přirozená

Rychlost přeměn jader není možné ovlivnit žádným fyzikálním či chemickým procesem, neboť k procesům těchto přeměn, dochází v jádrech atomů. V této souvislosti lze hovořit o tzv. přirozené radioaktivitě, kdy dochází k samovolnému rozpadu všech nestabilních těžších jader na stabilní lehčí jádra ¹⁶. Příkladem přirozené radioaktivity je tzv. kosmické záření dopadající na Zemi z vesmíru. Toto záření vzniká v důsledku vysoce energetických kosmických procesů (např. termonukleárními reakcemi uvnitř hvězd, explozemi supernov, procesy v blízkosti černých děr apod.). V této souvislosti se jedná o tzv. primární kosmické záření. Před tímto zářením je Země částečně chráněna atmosférou. Protože kosmické záření vzájemně působí s vnějším obalem Země a s atmosférou, na zemský povrch tedy dopadá sekundární kosmické záření ¹⁷. Dochází příkladně k tvorbě těchto izotopů: uhlíku ¹⁴C, tritia ³H či beryllia ⁷Be. Zátěž obyvatelstva Země z kosmického záření představuje přibližně 10 %. Přirozená radioaktivita je dána rovněž přítomností radioaktivních prvků v zemském podloží a v půdě. Jedná se především o prvky jako je uran ²³⁸U a ²³⁵U, thorium ²³²Th či rubidium ⁸⁷Rb. Přeměnou těchto prvků vznikají další radioaktivní prvky (zvláště radium ²²⁶Ra, polonium ²¹⁰Po nebo radon ²²²Rn a ²²⁰Rn). Právě radon představuje pro populaci v České republice největší podíl na průměrné radiační zátěži (40 %). Radionuklidy se v zemské kůře vyskytují zhruba v 10 %. Přirozenou radioaktivitou se rozumí také vnitřní ozáření v důsledku radionuklidu (přírodního izotopu draslíku ⁴⁰K), který je obsažen skoro ve všech potravinách a

¹⁶ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

¹⁷ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 10.

v lidském těle. Radionuklidy v potravinách a v lidském těle představují asi 20% radiační zátěž obyvatelstva¹⁸.

2.2 Radioaktivita umělá

Umělou radioaktivitou se rozumí vyvolání nestability atomového jádra umělými způsoby. K tomuto dochází nejčastěji jadernými reakcemi. Nutno podotknout, že umělá radioaktivita je řízena obdobnými zákonitostmi jako radioaktivita přirozená¹⁹. Za zdroje umělé reaktivity tak lze v první řadě považovat jaderné elektrárny. Jaderné elektrárny však pro obyvatelstvo představují radiační zátěž pouze okolo 0,01 %. Umělé radioaktivity se v současné době využívá v celé řadě oborů – ve vědě a výzkumu (např. při zkoumání stárí archeologických nálezů, při zjišťování složení materiálů neznámého původu), v průmyslových odvětvích (v energetice, ve válcovnách plechů a výrobnách plastů – k měření tloušťky materiálů, k hledání skrytých vad materiálů), v medicíně a v dalších disciplínách. Umělá radioaktivita je ve velké míře využívána právě v lékařství. Využívání ionizujícího záření v medicíně se nazývá lékařským ozářením, které představuje přibližně 20 % radiační zátěže obyvatelstva. Ke zdrojům umělé radioaktivity v lékařství patří zejména rentgeny, počítačová tomografie, radioterapeutické ozařovače, metody nukleární medicíny a jiné²⁰.

¹⁸ Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně: Pojmy, veličiny, jednotky. *Fakultní nemocnice v Motole* [online] 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospele/klinika-nuklearni-mediciny-a-endokrinologie-uk-2-l/oddeleni-radiologicke-fyziky/obecne-informace-o-radioaktivite-a-radiacni-ochran/>.

¹⁹ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

²⁰ Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně: Pojmy, veličiny, jednotky. *Fakultní nemocnice v Motole* [online] 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospele/klinika-nuklearni-mediciny-a-endokrinologie-uk-2-l/oddeleni-radiologicke-fyziky/obecne-informace-o-radioaktivite-a-radiacni-ochran/>.

3 OBJEVENÍ RADIOAKTIVITY – OSOBNOSTI

Prvním významným objevem bylo objevení rentgenového záření (X záření) v roce 1895. O to se zasloužil Wilhelm Conrad Röntgen. Roku 1901 mu byla za tento objev udělena Nobelova cena za fyziku. Další významnou osobností v souvislosti s objevením radioaktivity byl francouzský fyzik Antoine Henri Becquerel. Ten roku 1896 při svých pokusech s uranovou rudou objevil přirozenou radioaktivitu. Za objev první radioaktivní substance mu byla roku 1903 udělena rovněž Nobelova cena za fyziku. Významnými osobnostmi jsou rovněž manželé Marie a Pierre Curieovi (Marie Curie Skłodovská a Pierre Curie). Tito jsou objeviteli umělé radioaktivity – objev radioaktivních částic polonia a radia (rok 1898). První gram rádia se jim podařilo izolovat ze smolince, který pocházel z Jáchymova. Manželé Curieovi společně s A. H. Becquerelem obdrželi za tento objev Nobelovu cenu za fyziku. Marie Curie obdržela navíc roku 1911 sama tuto cenu za chemii²¹. Záření α (prvotně označované jako Becquerelovy paprsky) bylo na základě objevů A. H. Becquerela prokázáno Ernestem Ruthefordem roku 1908. Ten prokázal, že se jedná o heliová jádra. Záření α tak mělo důležitou roli při pokusech E. Rutheforda. Tomu se podařilo objevit jádro atomu, což přispělo ke vzniku planetárního modelu atomu. E. Rutheford se dále (roku 1914) společně s Edwardem Andradem zasloužili o změření vlnové délky γ záření prostřednictvím rentgenové krystalografie (prokázali tak, že se jedná o druh elektromagnetického záření). O objev záření γ se při studiu uranu zasloužil chemik a fyzik pocházející z Francie – Paul Ulrich Villard (rok 1900). Ten si zpočátku myslel, že γ záření je stejně jako α a β záření částicového charakteru. O deset let později fyzik Bragg z Velké Británie prokázal ionizací plynu podobně rentgenovému záření vlnový charakter γ záření. Na objevení radioaktivity závisel také rozvoj radiologie (viz kapitola 1 výše). O rozvoj tohoto oboru se zasloužila také celá řada významných osobností, zejména: Max Planck (rok 1900, zakladatel kvantové teorie, formulace předpokladu kvantování energie oscilátorů, držitel Nobelovy ceny za fyziku z roku 1918), Georg von Hevesy (rok 1923, průkopník v používání radioaktivních izotopů v rámci studií metabolických procesů v rostlinách a zvířatech, držitel Nobelovy ceny za chemii z roku 1943), Hermann Joseph Müller (rok 1927, prokázání mutagenních účinků ionizujícího záření, držitel Nobelovy ceny

²¹ SEIDL, Zdeněk, BURGETOVÁ, Andrea, HOFFMANNOVÁ, Eva, MAŠEK, Martin, VANĚČKOVÁ, Manuela, VITÁK, Tomáš. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada Publishing a. s., 2012. 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6, s. 17.

za fyziologii a medicínu z roku 1946), Otto Hahn (rok 1938, objevitel jaderného štěpení, držitel Nobelovy ceny za chemii z roku 1945), Joseph Hamilton a Mayo Soley (rok 1940, použití jódu v radiodiagnostice onemocnění štítné žlázy), Douglass H. Howry (rok 1949, sestavení prvního pulz-echo ultrazvukového skeneru – předchůdce ultrazvukového přístroje), Godfrey N. Hounsfield a Allan McLeod Cormack (rok 1971, objevitelé počítačové tomografie, držitelé Nobelovy ceny za fyziologii a medicínu z roku 1979), Paul Christian Lauterbur (rok 1973, Objevitel magnetické rezonance, držitel Nobelovy ceny za fyziologii a medicínu z roku 2003) či Michel M. Ter-Pogossian (rok 1975, sestrojení pozitronové emisní tomografie)²².

²² SEIDL, Zdeněk, BURGETOVÁ, Andrea, HOFFMANNOVÁ, Eva, MAŠEK, Martin, VANĚČKOVÁ, Manuela, VITÁK, Tomáš. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada Publishing a. s., 2012. 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6, s. 18 – 19.

4 DRUHY RADIOAKTIVNÍHO ZÁŘENÍ – DEFINICE

Lze rozlišit několik druhů radioaktivního záření odlišujících se schopností průniku látkou a chováním v elektrickém a magnetickém poli. Dle druhu emitovaného záření se jedná o záření alfa (héliové záření), beta (elektronové a pozitronové záření) a gama (fotonové záření). Stručné charakteristiky těchto druhů radioaktivního záření jsou uvedeny v podkapitolách 4.1 až 4.3 níže.

4.1 Záření alfa

Alfa záření (α záření) je složeno z 2 protonů p^+ a 2 neutronů n^0 . Pro tyto nukleony je charakteristická velká vazebná energie. Z tohoto důvodu se jejich seskupení chová, jako jedná částice - jedná se o jádro helia (${}^4\text{He}_2$). Při průchodu částice α prostředím dochází k velkým ionizačním ztrátám energie. Obecně platí, že při stejné rychlosti je ionizační schopnost částice α větší, čím je větší její náboj. Částice α tak vyvolávají v porovnání s protony či deutrony větší ionizaci. Toto je dáno velkou hmotností a poměrně velkým elektrickým nábojem (2 kladnými elementárními náboji) částice α . Pro částice α je rovněž charakteristická vysoká specifická lineární ionizace. To znamená, že dochází ke vzniku řádově desítek tisíc iontů na dráze 1 cm, což vytváří souvislou stopu dráhy. V důsledku velkých ionizačních ztrát je dolet α částic velice malý. Na ionizaci připadá zhruba polovina energetických ztrát ionizující částice α . Druhá polovina připadá na excitaci atomů prostředí. Další vzájemné působení α záření (pružné a nepružné srážky) jsou v praxi zcela zanedbatelné. Při dopadů α záření na kůži dochází k jeho pohlcení v nejsvrchnějších vrstvách kůže (latinsky *epidermis*). Dolet α částic v tkáni je řádově odhadován v mikrometrech (μm). Právě proto není α záření v případě vnějšího ozáření považováno za nebezpečné. Výjimku však tvoří vnější ozáření oka α zářením. Při vnitřní kontaminaci je však energie α částic pohlcována v malém objemu tkáně, což z biologického hlediska působí nepříznivě²³.

²³ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

4.2 Záření beta

Beta záření (β záření) tvoří rychlé elektrony (elektronové β^- záření) či pozitrony (pozitronové β^+ záření) s velkým rozsahem energií. K emitaci elektronů z jádra dochází při samovolné přeměně jaderného neutronu na proton, elektron či antineutrino. Pro β záření je typické spojité energetické spektrum. Záření β tedy obsahuje částice s energiemi od nulové hodnoty až po konkrétní maximální hodnotu, jenž je pro určitý radionuklid příznačná. Hodnoty maximální energie v případě obvykle využívaných β zářičů se pohybují v desítkách kiloelektron voltu (keV) a v jednotkách milielektron voltu (meV). Největší energetické ztráty elektronu při jeho průniku prostředím připadají na ionizaci a excitaci. Pro elektrony je charakteristická menší hmotnost a náboj (v porovnání s α zářením). Z tohoto důvodu je menší rovněž specifická lineární ionizace elektronů oproti α záření. Dolet elektronů je tak naopak větší. Uplatňován je rovněž daleko pružnější rozptyl elektronů a tvorba tzv. brzdného záření v oblasti vlnových délek rentgenového záření. Skutečná dráha elektronu je až 4krát větší než jeho dolet. Částice β jsou poměrně malé a lehké v porovnání s α částicemi. Z tohoto důvodu dochází při jejich průniku prostředím k rozptylu s malými energetickými ztrátami. Dráha β částic je tak mnohdy výrazně klikatá. V případě složení prostředí z lehkých prvků, není dolet β záření závislý na určitém chemickém složení absorbujícího prostředí²⁴.

4.3 Záření gama

Gama záření (γ záření) představuje elektromagnetické záření (fotony) o velmi krátké vlnové délce v řádu od 10 až 11 do 10 až 13 m. Záření γ bývá označováno také jako fotonové záření. Ke vzniku γ záření dochází při jaderných reakcích či při radioaktivních přeměnách změnami stavu jádra z vyššího do nižšího energetického stavu, kdy se jádro odprošťuje od své excitační energie. Čistých γ zářičů existuje velice málo. Běžně je γ záření doprovázeno α či β zářením. Energii γ fotonů lze vyjádřit následující rovnicí:

²⁴ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

kde:

h – tzv. Planckova konstanta ($6,64 \cdot 10^{-34}$ Js),

c – rychlost elektromagnetického záření ve vakuu ($3 \cdot 10^8$ m/s),

λ – vlnová délka záření.

Pro γ záření je typické čárové spektrum, což značí, že určité radionuklidy emitují jen fotony s jistými energiemi, jež jsou k jeho přeměně příznačné. Energie γ záření představují v případě využívaných zdrojů v praxi desítky kiloelektron voltu (keV) až jednotky milielektron voltu (meV). Ze zdrojů γ záření, které jsou využívány nejčastěji, lze uvést kobalt ^{60}Co , cesium ^{137}Cs a iridium ^{192}Ir . Vzájemné působení γ záření s prostředím nápadně liší od vzájemného působení elektricky nabitých částic s prostředím. Při průniku fotonů prostředím dochází k uvolňování elektricky nabitých částic a k předávání dostatečné energie těmto částicím k jejich schopnosti ionizovat a excitovat prostředí. Záření γ vzájemně působí s prostředím nepřímo, a to prostřednictvím fotoelektrického jevu, Comptonova rozptylu a tvorby elektronpozitronových párů²⁵.

²⁵SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

5 PŘÍSTROJE RADIODIAGNOSTICKÉ

Primárním zdrojem ionizujícího záření využívaným na radiodiagnostických odděleních zdravotnických zařízení je rentgenka. Jedná se o skleněnou evakuovanou trubici zvanou jako Coolidgeova lampa. Ve vakuovém prostoru této trubice je umístěna žhavená katoda ve tvaru spirály a anoda ve tvaru terčíku (v případě rentgenek s pevnou anodou) či talíře (v případě rotačních anod). Katoda a anoda jsou vyrobeny z kovu (wolframu, který má vysoké protonové číslo a vysoký bod tání). Tento kov dokáže odolávat až teplotám do 3 000 °C. Jedná se o vhodný prvek k brždění rychle letících elektronů. Vložením napětí o velikosti desítek až stovek kilovoltu (kV) mezi katodu a anodu, dojde k vylétnutí elektronů z katody a k jejich rychlému dopadu na anodu. Přes 99 % kinetické energie elektronů se přemění v teplo a méně než 1 % se přemění na brzdné rentgenové záření²⁶.

Ze základních vyšetřovacích technik využívajících ionizujícího záření (rentgenky) lze jmenovat:

- skiografii:

Skiografií se rozumí statistické pozorování nálezu. Jedná se o techniku, při níž dochází k zobrazení tkání lidského organismu. K tomuto účelu je využíváno různé hodnoty pohlcení procházejícího svazku rentgenového záření v nejrůznějších tkáních. Výsledkem skiografie je obraz, který je zachycen na citlivém materiálu (na rentgenovém filmu nebo na detekčním systému přístroje). Z takového obrazu je možné posoudit vnitřní stavbu vyšetřovaného orgánu či tkáně, včetně jejich eventuálních patologických stavů. Skiografie je vhodná k radiodiagnostickému vyšetření páteře, kostí, kloubů, plic či měkkých tkání²⁷. Autoři M. Heřman a kolektiv a autoři J. Nekula, M. Heřman, J. Vomáčka a M. Köcher doplňují:

²⁶ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

²⁷ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

„Pomocí prostých snímků nejčastěji vyšetřujeme skelet, hrudník a břicho. Relativní kontraindikací k provádění vyšetření je těhotenství“^{28 29}.

- skioskopii:

Jedná se o radiologickou vyšetřovací metodu, jež prostřednictvím rentgenového záření umožňuje zobrazit tělo člověka v reálném čase. V rámci vyšetření se kontinuální informace vytváří dopadem rentgenového záření na fluorescenční stínítko zesilovače obrazu, jenž je spojen s televizním řetězcem a monitorem. Obrazový záznam může mít digitální podobu nebo může být ve formě filmového materiálu. K zobrazení obrazového záznamu může být využito rovněž jiné dokumentační techniky. Skioskopie je využíváno zvláště k vyobrazení trávicí trubice, páteřního kanálu nebo různých patologických stavů (kupříkladu píštěl). Skioskopie slouží rovněž k zobrazování orgánů. V takových případech je však používáno kontrastní látky zabraňující průniku rentgenového záření³⁰. „Pod skioskopickou kontrolou jsou prováděna zejména vyšetření gastrointestinálního traktu, angiografie a intervenční výkony, používá se i peroperačně nejčastěji při operacích skeletu. Kontraindikace se neliší od jiných rentgenových metod“^{31 32}.

- zubní rentgeny:

Zubní rentgeny jsou využívány ve stomatologické praxi. Ve většině případů se jedná o tzv. intraorální rentgeny. Tyto rentgeny slouží k získání velmi kvalitních snímků vyšetřované oblasti (ústní dutiny), přičemž dávka rentgenového záření je zcela minimální. Při průniku rentgenových paprsků tkání dochází k jejich dopadu přímo na film či digitální senzory, což

²⁸ HEŘMAN, Miroslav a kolektiv. *Základy radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 314 s. ISBN 978-80-244-2901-4, s. 15.

²⁹ NEKULA, Josef, HEŘMAN, Miroslav, VOMÁČKA, Jaroslav, KÖCHER, Martin. *Radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. 205 s. ISBN 80-244-1011-7, s. 13.

³⁰ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

³¹ HEŘMAN, Miroslav a kolektiv. *Základy radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 314 s. ISBN 978-80-244-2901-4, s. 16.

³² NEKULA, Josef, HEŘMAN, Miroslav, VOMÁČKA, Jaroslav, KÖCHER, Martin. *Radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. 205 s. ISBN 80-244-1011-7, s. 14.

umožňuje okamžité získání potřebného snímku. Ve stomatologické praxi je rovněž využíváno panoramatických dentálních rentgenů, jež umožňují přehledné a detailní zobrazení celé čelisti na jednom snímku³³.

- výpočetní / počítačovou tomografií:

Počítačová tomografie známá pod zkratkou CT představuje zobrazovací metodu, která využívá digitálního zpracování dat o průniku rentgenového záření vyšetřovanou oblastí. Počítačová tomografie pracuje na obdobném principu jako běžné snímkování (na principu zeslabování procházejícího rentgenového záření ve vyšetřované oblasti). Svazek ionizujícího záření, který vychází z rentgenky, je vycloněn do tvaru vějíře. Šířka tohoto vějíře stanovuje šířku zobrazované oblasti. Po průniku záření vyšetřovanou oblastí dochází k jeho dopadu na detektory, které jsou uloženy přímo před rentgenkou. Kvanta dopadajícího záření jsou převáděna na elektrický signál, jenž je dále zpracováván počítačem. V průběhu rotace se provádí stovky měření, ze kterých počítač přepracovává obraz vyšetřované oblasti. Tento obraz je dán hodnotami absorpčních koeficientů z dílčích míst vyšetřované oblasti. Počítačová tomografie (včetně dalších intervenčních metod využívajících rentgenových přístrojů) jsou z diagnostického a terapeutického hlediska velice účinné. Postupně dochází také k rozšiřování škály a indikací k vyšetření nemocných³⁴. „Indikace k počítačové tomografii jsou široké a zahrnují prakticky všechny oblasti těla a všechny skupiny diagnóz. Nejčastějšími indikacemi jsou vyloučení nebo potvrzení přítomnosti ložiskových lézí a stážování tumorů. K akutnímu počítačově tomografickému vyšetření jsou indikována zejména traumata (lebky, páteře, hrudníku, břicha, pánve a některé úrazy končetin), cévní mozkové příhody, pátrání po abscesech či pooperačních komplikacích. Pod kontrolou počítačové tomografie lze také provádět diagnostické biopsie a terapeutické drenáže tekutinových kolekcí. V mnoha případech se překrývají indikace k vyšetření počítačovou tomografií a magnetickou

³³ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

³⁴ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

rezonancí. Absolutní kontraindikace k počítačově tomografickému vyšetření nejsou, relativní kontraindikací je těhotenství“^{35 36}.

³⁵ HEŘMAN, Miroslav a kolektiv. *Základy radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 314 s. ISBN 978-80-244-2901-4, s. 25.

³⁶ NEKULA, Josef, HEŘMAN, Miroslav, VOMÁČKA, Jaroslav, KÖCHER, Martin. *Radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. 205 s. ISBN 80-244-1011-7, s. 22.

6 PŘÍSTROJE RADIOTERAPEUTICKÉ

Radioterapeutické přístroje se v praxi využívají k zevnímu ozařování i k léčbě záření na krátkou vzdálenost (tzv. brachyterapie). Ke zdrojům ionizujícího záření využívaných na radioterapeutických odděleních patří:

- kobaltové a cesiové ozařovače:

Kobaltové a cesiové ozařovače jsou přístroje k zevnímu ozařování produkující fotonové záření neboli γ záření o vysoké energii. Fyzikální poločas přeměny kobaltu ^{60}Co je 5,29 let. Tímto prvkem je emitováno γ záření o energii 1,33 MeV a 1,17 MeV. Jedná se o velice intenzivní energie. Kobalt v podobě plochých kroužků či drobných válečků o rozměrech 1 x 1 mm je uzavřen v kontejneru z hliníku či oceli o rozměru 24 x 24 mm. Ochranná olověná hlavice ve tvaru koule má průměr až 60 cm. Uvnitř této hlavice je wolframové či uranové jádro, neboť slitiny těchto prvků vykazují v porovnání s olovem vyšší absorpci. Tato hlavice je opatřena kanálovým otvorem, ze kterého vychází hlavní svazek γ záření. Cesium ^{137}Cs emituje množství γ záření o energii 0,66 MeV. Fyzikální poločas přeměny cesia je až 30,07 let. V důsledku poměrně dlouhých fyzikálních poločasu přeměn kobaltu a cesia dochází ke snižování γ záření, které je produkováno kobaltovými a cesiovými ozařovači s časem velice pomalu³⁷.

- Leksellův gama nůž:

Leksellův gama nůž patří k radionuklidovým zdrojům ionizujícího γ záření. Jedná se o polosférické umístění 201 zdrojů γ záření izotopu kobaltu. Svazky paprsků těchto zdrojů jsou regulovány kolimátory, a to takovým způsobem, že dochází k jejich protínání ve společném ohnisku uvnitř již zmiňovaného polosférického prostoru. Dávky záření dílčích svazků jsou poměrně malé. V ohnisku, kde dochází k protínání těchto svazků záření, se však tyto dílčí dávky záření sčítají. Výsledná dávka v ohnisku je tedy vysoká a v živé tkáni vyvolává biologickou reakci. Dávky dílčích paprsků nevyvolávají žádné významné reakce. Dávkový gradient mimo ohnisko, v němž dochází k protínání svazků, se v rozmezí několika milimetrů do okolí rychle snižuje. V případě umístění cíle do ohniska, který má být při funkční

³⁷ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

stereotaktické operaci postihnout, dojde při vhodné dávce k vytvoření ostře ohraničené malé nekrotické léze. Okolní tkáň je však šetřena³⁸.

- cyklické a lineární urychlovače částic:

Cyklické a lineární urychlovače částic jsou stejně jako kobaltové a cesiové ozařovače přístroji sloužící k zevnímu ozařování produkující fotonové záření neboli γ záření o vysoké energii. Urychlovači částic se rozumí zařízení, ve kterých dochází k umělému zrychlování elektricky nabitých elementárních částic či iontů k získání vysoké kinetické energie. Těchto urychlených částic se využívá v radioterapii k produkci intenzivního brzdného záření. Dle tvaru dráhy urychlovaných částic je možné rozeznat cyklické a lineární urychlovače částic. V případě cyklických urychlovačů částic je tvar dráhy urychlených elektricky nabitých elementárních částic kružnice či spirály. Mezi cyklické urychlovače částic patří betatron a cyklotron. Betatronu bylo prvně použito roku 1948. Betatron je zařízením, které urychluje elektrony na dráze ve tvaru kruhu. Mezi dvěma póly elektromagnetu se nachází skleněná či porcelánová evakuovaná trubice (tzv. urychlovací komora). Do této komory jsou tangenciálně v přesných časových intervalech vystřelovány elektrony z tzv. injektoru (tj. katodová trubice). Dostáváním rychle letících elektronů do magnetického pole dochází k zakřivení jejich dráhy. Dále pak pokračují kruhovou dráhou, na které jsou soustavně urychlovány. Uvnitř trubice se elektrony nepotýkají s žádným odporem. Rychlost těchto elektronů se tak přibližuje rychlosti světla. Následně dochází k oslabování elektrického a magnetického pole. Elektrony se pak pohybují spirálou ve vnějším směru, kde vyletují (jedná se o léčbu rychlými elektrony) či dopadají na terčík z wolframu, na němž vzniká velice tvrdé brzdné rentgenové záření s energií o velikosti až desítek MeV. Cyklotron byl sestaven fyzikem pocházejícím ze Spojených států amerických – E. O. Lawrencem – v roce 1937. Cyklotron je kruhovým urychlovačem využívaným k urychlení těžkých nabitých částic (tj. protonů, deuteronů, α částic a iontů) po dráze ve tvaru spirály. K pohybu částic dochází uvnitř dvou komor polokruhového tvaru. Jedná se o tzv. duanty. Ty jsou umístěny ve vakuu mezi pólovými nástavci velkého elektromagnetu. Duanty jsou připojeny na vysokofrekvenční generátor napětí. Silným magnetickým polem dochází k zakřivení dráhy částic, jež jsou emitovány ze zdroje, a jež

³⁸ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

v duantu opisují dráhu ve tvaru půlkruhu. V okamžiku, kdy se částice dostane na okraj jednoho duantu, dochází k jejímu přitažení opačně nabitým druhým duantem. Tehdy nastává samotné urychlování částic. V důsledku kladného náboje urychlované částice je zapotřebí, aby změna znaménka náboje na duantech byla synchronizovaná s pohybem částic. K vychýlení dostatečně urychlených částic dochází destičkou se záporným nábojem z dráhy ve tvaru spirály do výstupního okénka cyklotronu. Pro lineární urychlovače jsou charakteristické dráhy částic ve tvaru přímky. Prvně byl lineární urychlovač využit roku 1953. Lineární urychlovače slouží k zevnímu ozařování. Tato zařízení se využívají pro urychlení nabitých částic působením elektrického pole. Lineární urychlovače jsou tvořeny dlouhou přímou urychlovací trubicí opatřenou množstvím válcových elektrod. K urychlování částic dochází elektrostatickým polem mezi přepólovanými elektrodami. K jejich přepólování dochází v přítomnosti částice uvnitř elektrody – tedy v momentě, kdy na částici nepůsobí elektrostatické pole. Délky dílčích elektrod jsou různé. Pro volbu délky elektrod je důležité, aby se průletem částice vnitřkem elektrod změnila jejich polarita. Se zvyšováním velikosti rychlosti částic se zvyšuje také délka elektrod. Zvyšující se rychlostí dochází se zkracování doby průletu částic elektrodou. Je však nezbytné, aby doba průletu každou elektrodou byla shodná, a to důsledku konstantní frekvence generátoru³⁹.

- automatické afterloadingové přístroje:

Automatických afterloadingových přístrojů je využíváno v tzv. brachyterapii. Brachyterapie je metodou, při níž dochází k zavádění radioaktivních zářičů do orgánů. Pro tyto účely se v minulosti využívalo nejčastěji izotopu radia ²²⁶Ra, a to z důvodu dlouhého poločasu přeměny (1 620 let). Nevýhodou však bylo riziko úniku radonu ²²²Rn. Postupně se začalo využívat umělých radio-izotopů (zvláště cesia ¹³⁷Cs, iridia ¹⁹²Ir, zlata ¹⁹⁸Au či jódu ¹²⁵I). K zavádění těchto radio-izotopů do orgánů docházelo nejprve ručně. Z tohoto vyplývala výrazná expozice zdravotnického personálu. V 80. letech 19. století bylo započato používání dálkově ovládaného automatického afterloadingu. Tento přístroj je složen ze zásobního kontejneru tvořícího stínění pro jeden či více zdrojů. Tyto zdroje jsou k aplikaci vybírány ze zásobníku mechanicky prostřednictvím tenkého lanka či pneumaticky. Zdroje jsou uzavřeny

³⁹ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

v pevném obalu z kovu, což zabraňuje jejich uvolnění. Ve většině případů je do orgánu zavedena plastová trubička (tzv. aplikátor), do níž je vložena maketa zářiče. Samotný cesiový či iridiový zářič je do aplikátoru zaveden až po kontrole zavedení makety zářiče ⁴⁰.

⁴⁰ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

7 BIOLOGICKÉ ÚČINKY NA LIDSKÉ ZDRAVÍ

Původ biologických účinků ionizujícího záření spočívá v jeho vlivu na úrovni buněk. Důsledkem tohoto je působení na tkáně, orgány a dokonce celý organismus ⁴¹. Účinky ionizujícího záření na organismus je možné rozdělit do čtyř základních stádií, která se od sebe odlišují rychlostí a druhem probíhajících procesů:

- fyzikální stádium:

Při vzájemném působení ionizujícího záření s hmotou dochází k předání energie orbitálním elektronům v atomech za současného vzniku ionizace a excitace. V případě uvolněných elektronů s dostatečně vysokou energií může docházet k vytváření množství excitací a ionizací dalších atomů. Při absorbované dávce 1 Gy (Gray) v tkáni vzniká zhruba 10^5 ionizací v objemu každé buňky o velikosti přibližně 10 μm , která byla ozářena. Fyzikální stádium biologických účinků na lidské zdraví nastává prakticky okamžitě a trvá velmi krátce (10^{-16} až 10^{-14} sekund).

- fyzikálně-chemické stádium:

Ionizací a excitací jsou narušovány chemické vazby mezi atomy a molekulami. Vznikají sekundární fyzikálně-chemické procesy vzájemného působení iontů s molekulami. Při těchto procesech dochází k disociaci molekul a vznikají volné radikály (vodíkové kationty H^+ z vody H_2O , hydroxylové anionty OH^- a nestabilní oxidační produkty – např. peroxid vodíku H_2O_2 či atomární kyslík O_2). Fyzikálně-chemické stádium trvá rovněž po krátkou dobu (přibližně 10^{-14} až 10^{-10} sekund).

- chemické stádium:

Pro chemické stádium jsou charakteristické reakce vzniklých iontů, radikálů, excitovaných atomů a jiných produktů s biologicky významnými molekulami organického původu – napadají molekuly deoxyribonukleové kyseliny (Deoxyribonucleic acid – DNA), ribonukleové kyseliny (Ribonucleic acid – RNA), enzymy či proteiny a mění jejich složení a funkci. Za typickou molekulární poruchu lze považovat ulom jednoho vlákna cukro-fosfátového řetězce či naprostý zlom dvojvlákna deoxyribonukleové kyseliny. Příkladem

⁴¹ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

mohou být také poškození purinových a pyrimidinových bází, lokální denaturace a jiné. Tyto procesy trvají různě dlouhou dobu (od 10^{-3} do 10 sekund). Doba trvání těchto procesů se odvíjí od transportní doby reaktivních složek z místa, kde vzniknou, do místa lokalizace napadené biomolekuly.

- biologické stádium:

Důsledkem molekulárních změn ve z biologického hlediska významných látkách (kupříkladu v deoxyribonukleové kyselině, enzimech či proteinech) mohou být funkční a morfologické změny v buňkách, orgánech a dokonce v celém organismu. Biologické stádium trvá na úrovni buněk přibližně několik sekund a na úrovni celého organismu až několik let. Delší doba trvání biologických změn a jejich heterogenita vyplývá z komplikovanosti pochodů biochemického a metabolického charakteru a dále pak z vlivu množství zpětnovazebních mechanismů. Na úrovni celého organismu se biologické stádium může somaticky projevit při vysokých dávkách již po několika desítkách minut, při středních dávkách v průběhu několika dnů (tj. akutní poškození nebo nemoc z ozáření následkem zničení velkého počtu buněk) a při nízkých dávkách po dobu několika let či desítek let ⁴².

Konkrétní biologické účinky ionizujícího záření tedy závidí na hustotě ionizace (případně na depozici energie okolo dráhy nabitých částic). Těžké nabité částice jsou při vyvolání poškození efektivnější, než řídké ionizující částice. Z tohoto pohledu je možné biologické účinky ionizujícího záření rozdělit na somatické a genetické. Zatímco somatické biologické účinky ionizujícího záření postihují jedince vystaveného ozáření, genetické biologické účinky ionizujícího záření postihují potomky ozařovaného jedince ⁴³. Na základě vztahu dávky a biologického účinku ionizujícího záření se rozlišují stochastické a deterministické – viz podkapitoly 7.1 a 7.2 dále.

⁴² ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 50.

⁴³ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

7.1 Účinky deterministické

Deterministické účinky bývají označovány také jako tkáňová reakce na ozáření⁴⁴. U deterministických účinků je poškození tkáně přímo úměrné obdržené dávce ionizujícího záření. Tyto účinky nejsou náhodné, ale dají se předpovídat. V případě vysokých dávek ionizujícího záření je počet poškozených molekul biologicky aktivních látek tak velký, že tyto látky nejsou schopny buňky ani organismus úplně obnovit. Velká část takto poškozených buněk zcela zaniká. Dochází ke vzniku nemoci z ozáření. Ke klinickým projevům deterministických účinků ionizujícího záření dochází až po dosažení konkrétní prahové dávky. Obecně platí, že se zvyšující se dávkou vzrůstá pravděpodobnost vzniku poškození a závažnost poškození. Hlavním patogenním mechanismem je úbytek počtu buněk v tkáni, která byla ozářena. Na škodlivý účinek mají vliv také toxické látky, jež vznikají při zániku a degradaci velkého množství buněk. Nejprve nezpůsobuje snížení počtu buněk se zvyšující se dávkou v ozářované tkáni z funkčního hlediska žádné obtíže. Somatické projevy jsou patrné až při vyšších dávkách. Hodnota zmiňované prahové dávky pro člověka odpovídá 1 Gy. Jedná se o průměrnou a pouze orientační hodnotu stanovenou pro celý organismus. Jednotlivé tkáně však mají odlišné prahové dávky projevu deterministických účinků ionizujícího záření (příkladně lze uvést tyto prahové dávky – pro spermie 0,3 Gy, pro oční čočku 1,5 Gy, pro kůži 3 Gy, pro plíce 5 Gy). Tyto dávky se odvíjí od radiosenzitivity buněk a funkční rezervy v tkáni⁴⁵. Předpokladem existence klinických projevů deterministických účinků je zevní (makroskopické) pozorování. Z klinických projevů lze jmenovat:

- akutní nemoc z ozáření:

Akutní nemoc z ozáření vzniká v důsledku jednorázového ozáření pronikavým zářením celého organismu. Prahová dávka akutní nemoci z ozáření se odvíjí od druhu poškození (např. dřevňového, střevního, neuropsychického a dalších poškození). Obvykle tato dávka přesahuje hodnotu 0,7 Gy.

- akutní poškození kůže:

⁴⁴ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

⁴⁵ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 64.

K akutnímu poškození kůže dochází při lokalizovaném ozáření. Prahová dávka se v tomto případě pohybuje od 3 do 4 Gy.

- gonády:

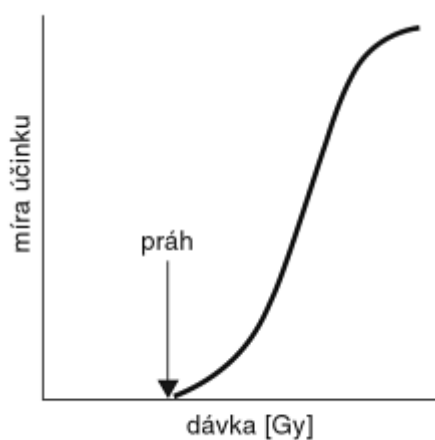
Jedná se o snížení plodnosti. Prahová dávka u mužů představuje hodnoty větší než 0,5 Gy a u žen hodnoty větší než 2 Gy.

- účinek na zárodek / plod:

Prahová dávka se odvíjí od doby početí. Může je však jednat již o hodnoty od 100 mGy ⁴⁶.

Závažnost poškození pro deterministické účinky je graficky znázorněna v grafu 1 níže.

Graf 1: Závislost biologického účinku ionizujícího záření na velikosti absorbované dávky – závažnost poškození pro deterministické účinky ⁴⁷



⁴⁶ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

⁴⁷ ROSINA, Jozef, KOLÁŘOVÁ, Hana, STANEK, Jiří. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada Publishing a. s., 2006. 232 s. ISBN 978-80-247-6868-7, s. 188.

7.2 Účinky stochastické

V případech, kdy dávka ionizujícího záření není velká, organismus je schopen se s převážnou většinou poškození biologicky aktivních látek vyrovnat sám pomocí reparačních mechanismů⁴⁸. Stochastické účinky ionizujícího záření se vyskytují s jistou pravděpodobností, a to i při malých dávkách. Tato pravděpodobnost je úměrná ozáření⁴⁹. Takto dochází ke vzniku tzv. postradiační genové nestability, jenž může být důsledkem mutace. V případě dělení mutovaných buněk vznikají pozdní trvalé genetické či nádorové následky. Tyto důsledky jsou naprosto náhodné, individuální a nepředvídatelné. Zmiňovaná pravděpodobnost výskytu stochastických účinků ionizujícího záření se zvyšuje s dávkou. Stochastické účinky mají na svědomí buňky přeživší radiační poškození, přičemž ozáření u nich nezpůsobilo genetické změny deoxyribonukleové kyseliny. Závažnost postižení a průběh vzniklého onemocnění v případě stochastických účinků ionizujícího záření nezávisí výši dávky. Na tomto je závislá jen pravděpodobnost výskytu genetického či onkologického poškození. Jedná se však o chorobné stavy, které se v populaci běžně vyskytují také bez účinků ionizujícího záření. Individuálně však v praxi nelze radiačně indukované tumory a genetické změny diferencovat od případů se stejným klinickým obrazem. Průměrný koeficient rizika vzniku radiačně indukovaného zhoubného nádorového onemocnění je odhadován na $0,005 \text{ Sv}^{-1}$ (tj. v případě tisíce jedinců ozářených dávkou 1 Sv ionizujícího záření existuje pravděpodobnost, že u pěti z těchto osob vznikne zhoubné nádorové onemocnění). Stochastické účinky ionizujícího záření závisí na věku. Při shodné dávce ionizujícího záření je pravděpodobnost těchto účinků v opačném poměru k věku ozařované osoby, což je způsobeno především časovým činitelem. Stochastické účinky ionizujícího záření mají totiž dlouhou dobu latence. Pravděpodobnost manifestace těchto účinků se zvyšuje s časem od ozáření – v mladším věku existuje větší pravděpodobnost projevu stochastických účinků ionizujícího záření, naproti tomu ve starším věku se tyto účinky nestihnou projevit. Pravděpodobnost uplatnění stochastických účinků je větší u dětí, neboť v dětském věku dochází k intenzivnějšímu dělení buněk. Stochastické

⁴⁸ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 62.

⁴⁹ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

účinky ionizujícího záření závisí rovněž na dávce. Jedná se o tzv. lineárně-kvadratickou závislost. Při nízkých dávkách lze předpokládat lineární závislost míry účinku neboli pravděpodobnost výskytu radiačně indukovaných genetických či nádorových poškození na dávce. Rovněž je možné předpokládat bezprahové stochastické účinky ionizujícího záření. Ty mohou být způsobeny také velice malými dávkami, také v rovině přírodního radiačního pozadí, s velmi malou pravděpodobností. V této souvislosti lze hovořit o tzv. lineární bezprahové teorii, na níž je založen konzervativní přístup k radiační ochraně. Právě z něj vychází celá řada předpisů pro práci se zdroji ionizujícího záření. Ve skutečnosti však není závislost stochastických účinků na dávce lineární, neboť v nižších dávkách jsou tyto účinky nižší⁵⁰. Pravděpodobnost výskytu stochastických účinků je znázorněna v následujícím grafu 2.

Graf 2: Závislost biologického účinku ionizujícího záření na velikosti absorbované dávky – pravděpodobnost výskytu pro stochastické účinky⁵¹



⁵⁰ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 62 – 63.

⁵¹ ROSINA, Jozef, KOLÁŘOVÁ, Hana, STANEK, Jiří. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada Publishing a. s., 2006. 232 s. ISBN 978-80-247-6868-7, s. 188.

K deterministickým a stochastickým účinků ionizujícího záření lze souhrnně uvést následující: Intracelulární mechanismy a vnější aspekty těchto účinků jsou stejné. Z tohoto důvodu není možné je od sebe vzájemně oddělit. Podstatou deterministických účinků ionizujícího záření je mechanismus radiačního usmrcování buněk. Tento mechanismus má na úrovni buněk pravděpodobnostní neboli stochastickou povahu. V případě středních a vyšších dávek je počet usmrčených buněk tak velký, že prakticky nedochází k projevům fluktuace. Konečná závislost má tedy deterministickou povahu. K usmrcování menšího počtu buněk dochází skrytě také při nízkých dávkách (to znamená při dávkách, které jsou nižší než deterministické účinky ionizujícího záření), u nichž se předpokládají stochastické účinky ionizujícího záření. K vnějším projevům tak nedochází z důvodu, že ostatní buňky, které nejsou poškozeny, jsou schopny zabezpečit funkční potřebu tkáně či orgánu a nahradit je dělením nepoškozených buněk. Společně s brzkými deterministickými účinky může docházet k latentnímu uplatňování pozdních stochastických účinků, a to za předpokladu přežití deterministických účinků ionizujícího záření. Toto je možné pozorovat při radioterapii, která je založena na deterministických účincích na nádorovou tkáň, kde se mohou kromě akutní radiotoxicity po delším časovém úseku objevit sekundární postradiační malignity, jež jsou způsobeny stochastickými účinky části ionizujícího záření absorbovanou mimo hlavní cílený nádor a ozářením dalších tkání a orgánů⁵². Srovnání charakteru deterministických a stochastických účinků ionizujícího záření na organismus je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Srovnání povah deterministických a stochastických účinků ionizujícího záření na organismus⁵³

Vlastnosti	Deterministické účinky	Stochastické účinky
patogeneze	smrt buněk – snížení jejich počtu	změna cytogenetické informace - mutace

⁵² ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 65.

⁵³ ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1, s. 65.

specifičnost	specifický klinický obraz, typický pro účinky ionizujícího záření	nespecifický obraz, neodlišitelný od spontánních případů
závislost na dávce	účinek se projeví až od určité prahové dávky, pak roste s dávkou	pravděpodobnost výskytu roste s dávkou od nuly (bezprahová závislost)
časová závislost	většinou poměrně rychlý nástup	pozdní účinky, dlouhá doba latence

8 PRINCIPY RADIAČNÍ OCHRANY – ALARA

Cílem radiační ochrany je minimalizace možnosti ohrožení jedinců deterministickými účinky ionizujícího záření a snížení stochastických účinků tohoto záření na úroveň, kterou lze považovat za přijatelnou. Uskutečnění těchto cílů radiační ochrany probíhá na základě propracovaného systému opatření organizačního a technického charakteru. Tato opatření jsou součástí množství právních předpisů, jež ukládají orgánům státní správy dostačující kompetence k zajištění požadované úrovně radiační ochrany. Radiační ochrana je založena na čtyřech základních principech zajištění ochrany před ionizujícím zářením:

- princip zdůvodnění činnosti:

Ozáření ionizujícím zářením musí být přínosnější ve větší míře, než rizika, která plynou z tohoto ozáření. Ve zdravotnictví je ozáření ionizujícím zářením zdůvodňováno klinickým stavem pacientů.

- princip optimalizace:

Princip optimalizace bývá nazýván principem ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Při činnostech s ionizujícím zářením je nezbytné dodržování takové úrovně radiační ochrany, aby riziko škodlivých účinků bylo optimálně nízké. Ohled musí být brán na společenská a ekonomická hlediska. Princip optimalizace v radiační ochraně je aplikován na populaci, pacienty a pracovníky. *„Cíle optimalizace radiační ochrany pacientů při lékařských aplikacích je třeba rozlišovat podle konkrétní oblasti použití záření, resp. radionuklidů:*

- *při radiodiagnostickém vyšetření se požaduje správné použití zobrazovací metody tak, aby dávky ve tkáních byly co nejnižší, aniž by se tím omezilo získání nezbytných radiodiagnostických informací,*
- *při radioterapeutických výkonech, kde se vyžaduje ozáření cílového objemu, na který je léčba zářením zaměřena, se ozáření musí omezit v rozsahu nezbytném k dosažení požadovaného účinku, přičemž ozáření*

ostatních tkání má být tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout bez omezení léčby“⁵⁴.

Ve vztahu principu optimalizace radiační ochrany k populaci je potřeba si uvědomit, že přírodnímu ozáření jsou vystaveni všichni obyvatelé bez výjimky. Dávky záření z přírodních zdrojů se liší na různých místech na Zemi. Součástí ozáření pracovníků (tzv. profesní ozáření) je jakékoliv ozáření při výkonu povolání (vyjma ozáření z přírodních zdrojů a ozáření ze zdrojů bez přímého vztahu k vykonávané práci, které se nevyskytují v objektu pracoviště).

- princip limitování:

Při činnostech s ionizujícím zářením je nezbytné omezení ozáření osob takovým způsobem, aby celková radiační dávka za jisté období nepřesáhla určené limity.

⁵⁴ SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

9 ATOMOVÝ ZÁKON - ZÁKON Č. 18/1997 SB.

V souladu s tématem podkladů zaměřených na poskytování radiodiagnostických a radioterapeutických služeb v podmínkách České republiky nelze opomenout některá ustanovení zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomového zákona) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů⁵⁵ (dále jen atomový zákon).

Součástí atomového zákona je vymezení základních pojmů. Pro tyto účely lze zmínit definici činností, které vedou k ozáření. K takovým činnostem je možné zařadit i poskytování radiodiagnostických a radioterapeutických služeb. Jedná se o činnosti s umělými zdroji ionizujícího záření, při kterých může dojít ke zvýšení ozáření fyzických osob atomového zákona)⁵⁶. Atomový zákon vymezuje rovněž zdroj ionizujícího záření. Tím se rozumí přístroj či zařízení, jenž může vysílat ionizující záření či uvolňovat radioaktivní látky⁵⁷. Atomový zákon dále definuje ozáření jako „vystavení fyzických osob a životního prostředí ionizujícímu záření, jímž je zejména profesní ozáření fyzických osob v souvislosti s výkonem práce při radiačních činnostech a lékařské ozáření v rámci lékařského vyšetření nebo léčby, pracovnělékařských služeb a preventivních zdravotních služeb, dobrovolné účasti zdravých osob nebo pacientů na lékařském nebo biolékařském, diagnostickém nebo terapeutickém výzkumném programu při ověřování nezavedených metod a lékařsko-právních postupů“⁵⁸. Nutno podotknout, že v souvislosti s lékařsko-právními postupy se atomový zákon odkazuje na zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o

⁵⁵ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z:

<http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=44906&nr=18~2F1997&rpp=100#local-content>.

⁵⁶ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 2, písm. b), bod aa).

⁵⁷ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 2, písm. c).

⁵⁸ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 2, písm. x), bod 1 a 2, aa) – dd).

zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů⁵⁹ (dále jen zákon o zdravotních službách). Radiačními pracovníky jsou dle atomového zákona všechny fyzické osoby, které jsou vystaveny profesnímu ozáření, a to bez ohledu na to, jestli se jedná o pracovníky nebo fyzické osoby, jež vykonávají činnost v jiném pracovněprávním vztahu⁶⁰. Jednotlivcem z populace se rozumí všechny fyzické osoby. Výjimku tvoří radiační pracovníci v souvislosti s výkonem práce, dále fyzické osoby:

- v průběhu praktické přípravy na profesi,
- vystavené ozáření za účelem lékařského vyšetření či terapie,
- doprovázejících či dobrovolně poskytujících pomoc osobám, jenž jsou vystavovány ozáření při lékařském vyšetření či terapii, a to nad rámec svých pracovních povinností,
- účastníci se dobrovolně využití dosud nezavedených metod v rámci klinické praxe⁶¹.

Atomový zákon dále definuje tzv. diagnostickou referenční úroveň. Tou je „*směrná hodnota pro ozáření v lékařské radiodiagnostice*“⁶². Protože v důsledku expozice ionizujícímu záření může dojít k poškození zdraví. Atomový zákon vymezuje pojem „zdravotní újma“, čímž se rozumí pravděpodobnost poškození zdraví v důsledku působení somatických účinků ionizujícího záření (včetně rakoviny). Dále se jí rozumí poškození zdraví genetickými poruchami, jež se mohou projevit u fyzických osob po ozáření ionizujícím zářením. Tato poškození je možné určit odhadem rizika snížení délky a kvality života⁶³.

⁵⁹ Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>.

⁶⁰ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 2, písm. y).

⁶¹ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 2, písm. z).

⁶² Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 2, písm. hh).

⁶³ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 2, písm. mm).

Ustanovení atomového zákona je věnováno také lékařskému ozáření. Toto ozáření může být realizováno jen v případech, kdy je opodstatněno přínosem požadujícím rizika vznikající ozářením či rizika, která tímto ozářením mohou vzniknout. Podmínky lékařského ozáření, včetně pravidel k ozařování fyzických osob, jež dobrovolně napomáhají osobám podstupujícím lékařské ozáření a prokazatelného poučení a písemného souhlasu těchto osoby jsou určeny prováděcím právním předpisem ⁶⁴.

V neposlední řadě lze v souvislosti se zpracovávanou problematikou zmínit ustanovení atomového zákona týkajícího se odborné způsobilosti, neboť „*povolení bude vydáno za podmínky, že fyzická osoba, které má být povolení vydáno, a její odpovědný zástupce, byli-li ustanoven, jsou způsobilí k právním úkonům, bezúhonní a odborně způsobilí; žadatel nemusí splňovat podmínku odborné způsobilosti, jestliže ji splňuje jeho odpovědný zástupce*“ ⁶⁵. Odbornou způsobilostí se dle atomového zákona rozumí pro činnosti, které vedou k ozáření v souvislosti s lékařskou radiodiagnostikou v rámci poskytování zdravotní péče stomatology odborná způsobilost k výkonu profese zubního lékaře ⁶⁶ dle zákona č. 95/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání odborné způsobilosti a specializované způsobilosti k výkonu zdravotnického povolání lékaře, zubního lékaře a farmaceuta, ve znění pozdějších předpisů ⁶⁷.

⁶⁴ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 7, odst. 1 a 2.

⁶⁵ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 10, odst. 1, písm. a).

⁶⁶ Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997, § 12, odst. 1, písm. b).

⁶⁷ Zákon č. 95/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání odborné způsobilosti a specializované způsobilosti k výkonu zdravotnického povolání lékaře, zubního lékaře a farmaceuta, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 2004 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=57522&nr=95~2F2004&rpp=15#local-content>.

10 ZÁKON Č. 372/2011 SB.

Předmětem právní úpravy zákona o zdravotních službách je úprava zdravotních služeb a podmínek jejich poskytování, včetně výkonu státní správy. Právní úprava tohoto předpisu dále zahrnuje druhy a formy zdravotní péče. Součástí právní úpravy zákona o zdravotních službách jsou práva a povinnosti pacientů (včetně osob blízkých pacientům), kterým je bližší pozornost věnována v rámci následující kapitoly 11, dále práva a povinnosti poskytovatelů zdravotních služeb, zdravotnických pracovníků, dalších odborných pracovníků a jiných osob v souvislosti s poskytováním zdravotních služeb. Zákon o zdravotních službách se dále zabývá podmínkami hodnocení kvality a bezpečí zdravotních služeb a jinými aktivitami, které souvisí s poskytováním těchto služeb. Do tohoto zákona jsou zapracovány příslušné předpisy Evropské unie⁶⁸ (kupříkladu směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/24/EU o uplatňování práv pacientů v přeshraniční zdravotní péči). Rámcový obsah zákona o zdravotních službách je následující:

- *„Část první - Základní ustanovení (§ 1 - § 4),*
- *Část druhá - Zdravotní služby a zdravotní péče (§ 5 - § 14):*
 - *Hlava I - Druhy a formy zdravotní péče (§ 5 - § 10),*
 - *Hlava II - Obecné podmínky poskytování zdravotních služeb (§ 11 - § 14),*
- *Část třetí - Oprávnění k poskytování zdravotních služeb (§ 15 - § 27):*
 - *Působnost správních orgánů (§ 15),*
 - *Podmínky udělení oprávnění k poskytování zdravotních služeb (§ 16),*
 - *Překážky udělení oprávnění k poskytování zdravotních služeb (§ 17),*
 - *Žádost o udělení oprávnění k poskytování zdravotních služeb (§ 18),*
 - *Rozhodnutí o udělení oprávnění k poskytování zdravotních služeb (§ 19),*

⁶⁸ Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>, Část první, § 1.

- *Poskytování zdravotních služeb osobami usazenými nebo se sídlem v jiném členském státě Evropské unie, Evropského hospodářského prostoru nebo Švýcarské konfederaci (§ 20),*
- *Oznamování změn poskytovatelem (§ 21),*
- *Zánik oprávnění k poskytování zdravotních služeb (§ 22),*
- *Odejmutí, pozastavení a změna oprávnění (§ 23 - § 27),*
- *Část čtvrtá - Postavení pacienta a jiných osob v souvislosti s poskytováním zdravotních služeb (§ 28 - § 44):*
 - *Hlava I - Práva a povinnosti pacienta a jiných osob (§ 28 - § 42),*
 - *Hlava II - Zdravotní služby a zaopatření poskytované v dětských domovech pro děti do 3 let věku (§ 43 - § 44),*
- *Část pátá - Postavení poskytovatele, zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků v souvislosti s poskytováním zdravotních služeb – Práva a povinnosti poskytovatele (§ 45 - § 51),*
- *Část šestá - Zdravotnická dokumentace a Národní zdravotnický informační systém (§ 52 - § 78):*
 - *Hlava I - Zpracování osobních údajů (§ 52),*
 - *Hlava II - Zdravotnická dokumentace (§ 53 - § 69),*
 - *Hlava III - Národní zdravotnický informační systém (§ 70 - § 78),*
- *Část sedmá - Nakládání s odejmutými částmi lidského těla, tělem zemřelého, postup při úmrtí a pitvy (§ 79 - § 92):*
 - *Úkony na těle zemřelého (§ 79),*
 - *Nakládání s částmi lidského těla odebranými pacientovi při poskytování zdravotní péče a nakládání s tělem zemřelého a částmi odebranými z těla zemřelého (§ 80 - § 82),*
 - *Postup při úmrtí (§ 83 - § 87),*
 - *Pitvy (§ 88 - § 92),*
- *Část osmá - Stížnosti (§ 93 - § 97),*

- *Část devátá - Hodnocení kvality a bezpečí zdravotních služeb (§ 98 - § 106),*
- *Část desátá - Kontrolní činnost (§ 107 - § 109),*
- *Část jedenáctá – Kraje (§ 110),*
- *Část dvanáctá - Fakultní nemocnice a centra vysoce specializované péče (§ 111 - § 113),*
- *Část třináctá - Správní delikty (§ 114 - § 118),*
- *Přechodná ustanovení,*
- *Přílohy:*
 - *Národní zdravotní registry“⁶⁹.*

⁶⁹ Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>.

11 PRÁVA A POVINNOSTI PACIENTŮ

Práva a povinnosti pacientů jsou primárně upraveny zákonem o zdravotních službách, a to v Části čtvrté, Hlavě I tohoto předpisu. Zdravotní služby mohou být pacientům poskytnuty jen s jejich svobodným a informovaným souhlasem (blíže viz kapitola 12 dále). Právem pacientů je poskytování zdravotních služeb na z odborného hlediska na patřičné úrovni⁷⁰. Pacienti mají v souvislosti s poskytováním zdravotních služeb rovněž právo na úctu, důstojné zacházení, na ohleduplnost a respektování soukromí dle povahy poskytovaných zdravotních služeb. Pacienti mají dále právo volby poskytovatele k poskytnutí zdravotních služeb odpovídajícím jejich zdravotním potřebám a zdravotnické zařízení. Pacienti mají právo na vyžádání konzultačních služeb od jiného poskytovatele (případně zdravotnického pracovníka), než od toho, kdo jim poskytuje zdravotní služby. Toto se však nevztahuje v případě poskytování neodkladné péče či na jedince ve výkonu vazby, trestu odnětí svobody či zabezpečovací detence. Pacienti mají právo být seznámeni s interním řádem příslušného zdravotnického zařízení lůžkové či jednodenní péče. K právům pacientů (nezletilých jedinců) dále patří právo na nepřetržitou přítomnost zákonného zástupce, případně jedince stanoveného zákonným zástupcem, pěstouna či jiného člověka, do jehož péče byli pacienti dle soudního rozhodnutí či jiného orgánu svěřeni. V případě pacientů s omezenou svéprávností mají tito pacienti právo na nepřetržitou přítomnost opatrovníka, případně jedince stanoveného opatrovníkem. V neposlední řadě lze uvést právo pacientů na přítomnost jejich blízké osoby či osoby, kterou si sami určí. Výše uvedené však musí probíhat v souladu s právními předpisy a interním řádem zdravotnického zařízení. Přítomnost zmiňovaných osob nesmí narušit poskytování zdravotních služeb. Toto ustanovení zákona o zdravotních službách se rovněž nevztahuje na jedince ve výkonu vazby, trestu odnětí svobody či zabezpečovací detence. Pacienti mají dále právo být předem informováni o cenách za poskytované zdravotní služby, které jsou hrazeny pojišťovnou jen částečně nebo dokonce vůbec, a o způsobu jejich úhrady (v případě, že toto jejich zdravotní stav umožňuje). Pacienti mají také právo znát jména a příjmení zdravotnických pracovníků (případně jiných odborných pracovníků), kteří se přímo podílejí na poskytování zdravotních služeb, včetně práva pacientů na znalost jmen a příjmení

⁷⁰ Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>, Část čtvrtá, Hlava I, § 28, odst. 1 a 2.

jedinců, kteří se u poskytovatele připravují na výkon zdravotnického povolání za předpokladu, že jsou tyto osoby při poskytování zdravotních služeb přítomny, případně vykonávají činnosti, jež jsou součástí výuky. Právním pacientů je odmítnutí přítomnosti osob, jež se přímo nezúčastňují poskytování zdravotních služeb, včetně odmítnutí osob při přípravě na výkon povolání zdravotnického pracovníka. Pacienti mají rovněž právo přijímat návštěvy ve zdravotnickém zařízení lůžkové či jednodenní péče. Pacienti mohou ve zdravotnickém zařízení lůžkové a jednodenní péče přijímat duchovní péči a podporu ze strany duchovních církví a náboženských společností, které jsou registrovány na našem území či ze strany osob, jež jsou pověřeny výkonem duchovenské činnosti. Návštěva duchovních nemůže být pacientům odepřena ani v případech ohrožení jejich života či závažného poškození zdraví. V souvislosti s přijímáním návštěv a duchovních ve zdravotnických zařízeních lůžkové a jednodenní péče nutno uvést, že musí být přihlédnuto ke zdravotnímu stavu pacientů, k internímu řádu a způsobu neporušujícího práva dalších pacientů. Pacienti mají právo na poskytování zdravotních služeb v prostředí, které je co možná v nejmenší míře omezuje při zabezpečení kvality a bezpečí⁷¹.

Povinností pacientů je dodržování navržených individuálních terapeutických postupů v případech, kdy s poskytováním zdravotních služeb vyslovili souhlas. Pacienti jsou povinni řídit se interním řádem zdravotnického zařízení. Povinností pacientů je uhrazení poskytovateli cenu za poskytnutí zdravotních služeb částečně hrazených či nehrazených pojišťovnou, jež jim byly poskytnuty s jejich souhlasem. Pacienti jsou dále povinni popravdě informovat ošetřujícího zdravotnického pracovníka o vývoji jejich zdravotního stavu, o infekčních nemocech, o zdravotních službách poskytnutých jinými poskytovateli, o užívání léků a návykových látek a dalších skutečnostech, které jsou důležité pro poskytování zdravotních služeb. Povinností pacientů je požívat v průběhu hospitalizace alkohol či jiné návykové látky, včetně podstoupení vyšetření s cílem prokázání vlivu alkoholu či jiné návykové látky dle rozhodnutí ošetřujícího lékaře (provedení těchto vyšetření je možné jen v odůvodněných případech). Povinností pacientů je prokázání totožnosti občanským průkazem v případě, že toto požaduje poskytovatel či zdravotnický pracovník poskytující zdravotní služby. Tato povinnost se vztahuje rovněž na osoby, které uplatňují právo na informace o zdravotním stavu

⁷¹ Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>, Část čtvrtá, Hlava I, § 28, odst. 3, písm. a) – k).

pacientů, a osoby, které chtějí pacienty ve zdravotnickém zařízení navštívit. V případě cizinců je totožnost ověřována cestovním dokladem či jiným průkazem totožnosti. V případě pochybení zdravotnického pracovníka o osobách blízkých pacientům, musí tyto osoby provést četné prohlášení, v němž uvedou své kontaktní údaje a číslo průkazu totožnosti. Toto prohlášení je pak součástí zdravotnické dokumentace, která je o pacientech vedena. V případech, kdy dojde k omítnutí prokázání totožnosti ze strany pacientů, poskytovatel či zdravotnický pracovník má právo na odmítnutí poskytnutí zdravotních služeb. To však neplatí v případech poskytování neodkladné péče. Pokud odmítnout prokázat svou totožnost osoby blízké pacientům, poskytovatel či zdravotnický pracovník mají právo k odmítnutí poskytnutí požadované součinnosti těchto osob či znemožnit návštěvu těchto jedinců u pacientů. Toto však neplatí, pokud pacienti potvrdí totožnost těchto osob. O odmítnutí návštěvy musí být pacient bezodkladně informován ze strany poskytovatele či zdravotnického pracovníka (případě ihned poté, co toto zdravotní stav pacientů umožňuje) ⁷².

⁷² Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>, Část čtvrtá, Hlava I, § 41, odst. 1 – 4.

12 INFORMOVANÉ SOUHLASY

Jak uvádí ustanovení zákona o zdravotních službách: „Zdravotní služby lze pacientovi poskytnout pouze s jeho svobodným a informovaným souhlasem.“⁷³ Pacienti, jež souhlasí se zařazením do klinického hodnocení, potvrzují své rozhodnutí svým podpisem do formuláře nazývaného jako informovaný souhlas. Informovaný souhlas představuje proces, v němž pacienti dobrovolně potvrzují svou ochotu podílet se na daném klinickém hodnocení poté, co byli informováni o veškerých aspektech tohoto hodnocení významných k rozhodnutí o účasti na studii. Informovaný souhlas má podobu písemného, podepsaného a datovaného formuláře⁷⁴. Problematice poskytování zdravotních služeb se souhlasem je věnováno ustanovení Části čtvrté, Hlavě I, § 34 zákona o zdravotních službách. Souhlas s poskytnutím zdravotních služeb je svobodný (bez jakéhokoliv nátlaku) a informovaný (podání informací pacientovi před vyslovením souhlasu, včetně vzdání se podání informací). Informovaný souhlas (včetně souhlasu s hospitalizací) musí mít písemnou formu. Pacientům je na požádání poskytnuta kopie písemné formy souhlasu. Pacientům, jimž byla poskytnuta informace o zdravotním stavu, či pacientů, kteří se vzdali těchto informací, kteří odmítají vyslovení souhlasu s poskytnutím zdravotních služeb, jsou podány znovu informace o jejich zdravotním stavu v rozsahu a způsobem, z něhož je jasné, že neposkytnutí zdravotních služeb může závažně poškodit jejich zdraví či dokonce ohrozit jejich život. Výjimkou jsou případy, kdy je zdravotní služby možné poskytnout bez jejich souhlasu. Pokud pacienti dále odmítají vyslovit souhlas, vykonají o tom písemné prohlášení (tzv. reverz). Pacienti mají právo na odvolání souhlasu s poskytováním zdravotních služeb. Odvolání souhlasu není účinné v případech, kdy již došlo k zahájení provádění zdravotního výkonu, jehož přerušování může zapříčinit závažné poškození zdraví či ohrozit život pacientů. Písemný souhlas, písemné odvolání souhlasu, záznam o odvolání tohoto souhlasu (odvolání souhlasu bez písemného vyjádření), písemné prohlášení o nesouhlasu s poskytováním zdravotních služeb a záznam o tomto nesouhlasu jsou součástí zdravotnické dokumentace, která je vedena o pacientech. Tyto formuláře jsou

⁷³ Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>, Část čtvrtá, Hlava I, § 28, odst. 1.

⁷⁴ Co je to Informovaný souhlas? *O léčích.cz* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.olecich.cz/encyklopedie/co-je-to-informovany-souhlas>.

podepsány, jak pacienti, tak příslušnými zdravotnickými pracovníky. Pokud pacienti odmítají podepsat výše uvedené záznamy, zdravotničtí pracovníci o tuto skutečnost záznam doplní a podepíše jej zdravotnický pracovník a svědek. V případech, kdy zdravotní stav pacientů nedovoluje vyjádření jejich souhlasu, odvolání souhlasu či vyslovení nesouhlasu s poskytováním zdravotních služeb, musí být nepochybný projev vůle pacientů ze strany zdravotnického pracovníka zaznamenán do zdravotnické dokumentace, včetně uvedení způsobu, kterým pacienti vyjádřili svou vůli, a zdravotní důvody, které pacientům brání ve vyjádření. Záznam je v těchto případech podepsán zdravotnickým pracovníkem a svědkem. V případech, kdy pacienti kvůli svému zdravotnímu stavu nemohou vyjádřit souhlas s poskytováním zdravotních služeb, je potřebný souhlas osoby, kterou stanoví pacienti. Pokud však taková osoba (manžel/ka, registrovaný partner) neexistuje nebo není k dispozici, je nutný souhlas rodiče. Pokud neexistuje nebo není k dispozici ani rodič, je souhlas vyžadován od jiné svéprávné osoby blízké pacientům ⁷⁵. Obsah písemného souhlasu s poskytnutím zdravotních služeb (zdravotních výkonů) je součástí přílohy č. 1 k vyhlášce č. 98/2012 Sb., o zdravotnické dokumentaci, ve znění pozdějších předpisů ⁷⁶, zabývající se minimálním obsahem samostatných částí zdravotnické dokumentace. „*Písemný souhlas obsahuje:*

- *údaje o účelu, povaze, předpokládaném prospěchu, následcích a možných rizicích zdravotních služeb,*
- *poučení o tom, zda navrhované zdravotní služby mají nějakou alternativu a pacient má možnost zvolit si z několika alternativ,*
- *údaje o možném omezení v obvyklém způsobu života a v pracovní schopnosti po poskytnutí příslušných zdravotních služeb, lze-li takové omezení předpokládat, a v případě změny zdravotního stavu též údaje o změnách zdravotní způsobilosti,*
- *údaje o léčebném režimu a preventivních opatřeních, která jsou vhodná, a o poskytnutí dalších zdravotních služeb,*

⁷⁵ Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>, Část čtvrtá, Hlava I, § 34, odst. 1 – 7.

⁷⁶ Vyhláška č. 98/2012 Sb., o zdravotnické dokumentaci, ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-98>.

- *poučení o právu pacienta svobodně se rozhodnout o postupu při poskytování zdravotních služeb, pokud jiné právní předpisy toto právo nevyklučují,*
- *záznam o poučení pacienta, jemuž byl implantován zdravotnický prostředek, formou poskytnutí podrobné informace o implantovaném zdravotnickém prostředku podle zvláštního právního předpisu,*
- *datum a podpis pacienta a zdravotnického pracovníka, který pacientovi údaje a poučení poskytl“⁷⁷.*

Informované souhlasy jsou potřebné v radiodiagnostice i v radioterapii. V radiodiagnostice jsou informované souhlasy nutné při výkonech, jako je angiografie, angioplastika, biopsie, drenáž, punkce, vyšetření počítačovou tomografií, defekografie, endosonografie, enteroklyza, fistulografie, flebografie, invazivní výkony při vyšetření prsů, irrigografie, mamografie, vyšetření magnetickou rezonancí, skiagrafické vyšetření⁷⁸ a další. V radioterapii jsou informované souhlasy nezbytné např. při radioterapii (zevním ozáření) břicha, hlavy a krku, hrudníku, kůže, mozku, pánve, prsu či nádorových onemocněních⁷⁹.

⁷⁷ Vyhláška č. 98/2012 Sb., o zdravotnické dokumentaci, ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-98>, Příloha č. 1, bod 5.

⁷⁸ Informované souhlasy - Radiodiagnostický ústav. *Fakultní nemocnice Ostrava* [online] 2014 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/ustav-radiodiagnosticky/informovane-souhlasy>.

⁷⁹ Informované souhlasy – Onkologická klinika. *Fakultní nemocnice Ostrava* [online] 2014 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/klinika-onkologicka/informovane-souhlasy>.

DISKUSE

V současné době je ionizující záření využíváno v nejrůznějších oborech. Ionizující záření je ve značné míře využíváno v medicíně, a to především v radiodiagnostice a v radioterapii. Nelze opomenout ani využití ionizujícího záření v nukleární medicíně. Ionizujícího záření je v lékařství využíváno zvláště kvůli jeho typickým biologickým účinkům na živou tkáň. Ionizující záření tak slouží nejen k diagnostickým, ale rovněž k léčebným neboli terapeutickým účelům. Ionizujícího záření se využívá v celé řadě zobrazovacích vyšetřovacích metod. Z těchto metod nejčastěji využívaných v radiodiagnostice a v radioterapie (rovněž v nukleární medicíně) lze uvést zejména snímkování (výpočetní či digitální neboli přímou radiografii, rentgenový obraz) skiaskopii, skiografii, tomografii, angiografii, ultrasonografií, výpočetní / počítačovou tomografií, magnetickou rezonanci, radioizotopové metody, artrografii, denzitometrii, metody intervenční radiologie, vylučovací urografii, duktografii, bioptické metody, flebografii, kobaltové a cesiové ozařovače, Leksellův gama nůž, cyklické (tj. betatron a cyklotron) a lineární urychlovače částic, automatické afterloadingové přístroje v brachyterapii a mnoho dalších. Kromě diagnostických a terapeutických možností ionizujícího záření nelze opomenout jeho škodlivé účinky deterministické a stochastické povahy, jenž mohou způsobit množství vážných poškození zdraví člověka. V podstatě dochází k dvěma významným druhům poškození, a to ke smrti buněk a ke změnám genetické informace buňky (tj. k mutacím). I přes nepříznivé účinky ionizujícího záření má toto záření v dnešní moderní medicíně zcela nezastupitelnou úlohu, neboť zobrazovací vyšetřovací metody využívající ionizujícího záření jsou významné pro lékařské obory jako je radiodiagnostika, radioterapie a nukleární medicína, případně další. Do budoucna lze předpokládat další vývoj oborů a metod využívajících ionizujícího záření, stejně jako tomu bylo doposud.

ZÁVĚR

Podklady na téma „Právní úprava radiodiagnostických a radioterapeutických služeb v ČR“ byly zaměřeny na problematiku radiodiagnostických a radioterapeutických služeb v podmínkách České republiky z pohledu právní úpravy těchto služeb. Celkově byly podklady rozděleny do 12 stěžejních kapitol vztahujících se k tématu. První kapitola podkladů se zabývala historickým vývojem radiologie od roku 1895, kdy bylo objeveno rentgenové záření, přes celou řadu dalších objevů v radiodiagnostice a v radioterapii, až po současnost. Druhá kapitola podkladů vymezila pojem „radiace“ neboli „záření“. V rámci této kapitoly byla pozornost věnována zvláště přímo a nepřímo ionizujícímu záření. Součástí této kapitoly bylo definování radioaktivity a stručné charakteristiky přirozené a umělé radioaktivity. V návaznosti na první kapitolu podkladů byla zpracována třetí kapitola zmiňující významné osobnosti v objevení přirozené a umělé radioaktivity, rentgenového záření, α , β a γ záření. Čtvrtá kapitola podkladů byla zaměřena na bližší specifikaci jednotlivých druhů ionizujícího záření – konkrétně α , β a γ záření. Další dvě kapitoly podkladů (tedy pátá a šestá kapitola) popisovaly dílčí radiodiagnostické a radioterapeutické přístroje. Z radiodiagnostických přístrojů byly uvedeny zobrazovací vyšetřovací metody jako např. skiografie, skiaskopie, zubní rentgeny a výpočetní / počítačová tomografie. Z radioterapeutických přístrojů byla pozornost soustředěna na kobaltové a cesiové ozařovače, Leksellův gama nůž, cyklické (tj. betatron a cyklotron) a lineární urychlovače částic a v neposlední řadě na automatické afterloadingové přístroje využívané v brachyterapii. Předmětem sedmé kapitoly podkladů byly biologické účinky ionizujícího záření na lidské zdraví. V souvislosti s těmito účinky byly popsány jejich čtyři základní stádia – fyzikální, fyzikálně-chemické, chemické a biologické. Největší pozornost však byla zaměřena na deterministické a stochastické účinky ionizujícího záření, včetně jejich vzájemného porovnání. Osmá kapitola podkladů byla orientována na principy radiační ochrany před ionizujícím zářením se zaměřením na tzv. princip ALARA neboli princip optimalizace. Následující dvě kapitoly podkladů (konkrétně devátá a desátá kapitola) se zabývaly právní úpravou dvou legislativních předpisů, a to atomového zákona a zákona o zdravotních službách. Jedenáctá kapitola podkladů byla zaměřena na práva a povinnosti pacientů dle zákona o zdravotních službách. Dvanáctá kapitola podkladů se týkala informovaných souhlasů z obecného hlediska (dle ustanovení zákona o zdravotních službách) a dále pak v souvislosti s radiodiagnostikou a radioterapií.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literární zdroje

FUKÁTKO, Tomáš. *Detekce a měření různých druhů záření*. Praha: BEN - technická literatura, 2007. 189 s. ISBN 978-80-7300-1.

HEŘMAN, Miroslav a kolektiv. *Základy radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 314 s. ISBN 978-80-244-2901-4.

NEKULA, Josef, HEŘMAN, Miroslav, VOMÁČKA, Jaroslav, KÖCHER, Martin. *Radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. 205 s. ISBN 80-244-1011-7.

ROSINA, Jozef, KOLÁŘOVÁ, Hana, STANEK, Jiří. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada Publishing a. s., 2006. 232 s. ISBN 978-80-247-6868-7.

SEIDL, Zdeněk, BURGETOVÁ, Andrea, HOFFMANNOVÁ, Eva, MAŠEK, Martin, VANĚČKOVÁ, Manuela, VITÁK, Tomáš. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada Publishing a. s., 2012. 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6.

ULLMANN, Vojtěch. *Aplikace ionizujícího záření v radiologických oborech*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2013. 183 s. ISBN 978-80-7464-211-1.

Internetové zdroje

Co je to Informovaný souhlas? *O léčích.cz* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.olecich.cz/encyklopedie/co-je-to-informovany-souhlas>.

Informované souhlasy – Onkologická klinika. *Fakultní nemocnice Ostrava* [online] 2014 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/klinika-onkologicka/informovane-souhlasy>.

Informované souhlasy - Radiodiagnostický ústav. *Fakultní nemocnice Ostrava* [online] 2014 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.fno.cz/ustav-radiodiagnosticky/informovane-souhlasy>.

Obecné informace o radioaktivitě a radiační ochraně: Pojmy, veličiny, jednotky. *Fakultní nemocnice v Motole* [online] 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospELE/klinika-nuklearni-mediciny-a->

endokrinologie-uk-2-1/oddeleni-radiologicke-fyziky/obecne-informace-o-radioaktivite-a-radiacni-ochran/.

SKALICKÁ, Freitinger, HALAŠKA, Jiří, HAVRÁNKOVÁ, Renata, KUBEŠ, Jiří, NAVRÁTIL, Leoš, NAVRÁTIL, Václav, SABOL, Jozef, ZÖLZER Friedo. *Radiobiologie* [online] 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

Právní předpisy dostupné na Internetu

Vyhláška č. 98/2012 Sb., o zdravotnické dokumentaci, ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-98>.

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 1997 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=44906&nr=18~2F1997&rpp=100#local-content>.

Zákon č. 95/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání odborné způsobilosti a specializované způsobilosti k výkonu zdravotnického povolání lékaře, zubního lékaře a farmaceuta, ve znění pozdějších předpisů. *Portál veřejné správy* [online] 2004 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=57522&nr=95~2F2004&rpp=15#local-content>.

Zákon č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů. *Zákony pro lidi.cz* [online] 2011 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-372>.

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Závislost biologického účinku ionizujícího záření na velikosti absorbované dávky – závažnost poškození pro deterministické účinky	28
Graf 2: Závislost biologického účinku ionizujícího záření na velikosti absorbované dávky – pravděpodobnost výskytu pro stochastické účinky	30

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Srovnání povah deterministických a stochastických účinků ionizujícího záření na organismus	31
---	----