

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Andrzej Pribula

Historie diagnostického zobrazování v radiologii

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Lada Skácelová, MBA

Olomouc 2023

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 21.4. 2023

Andrzej Pribula

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Název práce ČJ: Historie diagnostického zobrazování v radiologii

Název práce v AJ: History of diagnostic imaging in radiology

Datum zadání: 2022- 27-11

Datum odevzdání: 21.4.2021

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav radiologických metod

Autor práce: Andrzej Pribula

Vedoucí práce: Mgr. Lada Skácelová, MBA

Oponent práce: MUDr. Jan Hrbek

Abstrakt v ČJ: Tato přehledová bakalářská práce se zabývá vývojem radiodiagnostiky od objevu Rentgenových paprsků až do současnosti. Práce se dále zabývá radiační ochranou a přibližuje rozvoj pozice radiologického asistenta.

Abstrakt v AJ: This overview bachelor's thesis deals with the development of radiodiagnostics from the discovery of X - Ray to the present day. The work also deals with radiation protection and provides an overview of the development of the radiology assistant position.

Klíčová slova: Roentgen, výpočetní tomografie, ultrazvuk, skiaskopie, skiografie, magnetická rezonance, radiologický asistent.

Klíčová slova v AJ: Roentgen, computed tomography, ultrasound, fluoroscopy, skiagraphy, magnetic resonance, radiology technician.

Rozsah: 36 stran

Seznam bibliografických zdrojů:

BARTONÍČEK, Jan a Ondřej NAŇKA. Alban Köhler - historie jedné slzy. *Ortopedie*. 2017, 11(1), 40-42. ISSN 1802-1727.

Heřman, Miroslav. *Základy radiologie*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2014. ISBN 978-80-244-2901-4.

SCHOTT, Heinz, NIKLÍČEK, Ladislav, ed. *Kronika medicíny*. Praha: Fortuna Print, 1994. ISBN -80-85873-16-8.

SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.

THOMAS, Adrian M.K. a Arpan K. BANERJEE. *The History of Radiology* [online]. 2013. Great Clarendon Street, Oxford, United Kingdom: Oxford University press, 2013 [cit. 2023-04-21]. ISBN 978-0-19-963997-7.

VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA, a Jiří KOZÁK. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3126-0.

Seznam elektronických zdrojů

Bell D, Banerjee D, Charles Thurstan Holland. (2018) Reference article, Radiopaedia.org (Accessed on 29 Mar 2023) <https://doi.org/10.53347/rID-59597>

Kahle, Erhart, "Levy-Dorn, Max" in: *Neue Deutsche Biographie* 14 (1985), S. 406-407 [Online-Version]; URL: <https://www.deutsche-biographie.de/pnd116969059.html#ndbcontent>

MAŇÁK, Pavel. MUDr. Rudolf Bacher. *Židovská obec Olomouc* [online]. 21 DUBNA 2010 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://kehila-olomouc.cz/rs/3562/mudr-rudolf-bacher/>

The X-ray Martyr: Radiographer at London Hospital [online]. Australia Victoria Melbourne: National Library of Australia, 1910 [cit. 2023-03-29]. ISSN 1833-9719. Dostupné z: <https://trove.nla.gov.au/newspaper/article/10461181>

MOULD, Richard F. Radiologia wojskowa przed I wojną światową i na jej frontach, lata 1896–1918. *Nowotwory. Journal of Oncology* [online]. 2015, **65**(1), 23-34 [cit. 2023-04-12]. ISSN 2300-2115. Dostępne z: <http://czasopisma.viamedica.pl/nwt/article/view/41335>
doi:10.5603/NJO.2015.0011

Seznam zkratek

Seznam zkratek

| | |
|-------------------|---|
| A | Ampér, jednotka elektrického proudu |
| A-D | Analogově-digitální převodník, součástka určená k převodu analogového signálu na digitální |
| AgBr | Bromid stříbrný |
| CaWO ₄ | (Wolframát vápenatý) nebo také Scheelit |
| CsI | Jodid cesný |
| CT | Výpočetní tomografie |
| Gy | Gray, jednotka absorbované dávky záření |
| Hz | Hertz, jednotka frekvence |
| M | metr, jednotka délky |
| MR, MRI | Magnetická rezonance |
| R | Roentgen, dnes nepoužívaná jednotka expozice ionizujícího záření (1R = 0,01Gy) |
| Rem | Rem zastaralá jednotka dávkového ekvivalentu, dnes nahrazena jednotkou Sv |
| RTG | rentgenové |
| Sv | Sievert je jednotka ekvivalentní dávky nebo také jednotka dávkového ekvivalentu. |
| TFT | Tranzistorové ploché detektory z amorfního křemíku a amorfního selenu, používané pro detekci rentgenového záření. |
| V | Volt, jednotka elektrického napětí |

- ZnS Sulfid zinečnatý (Sulfid)
- 2 D Dvourozměrný obraz, který se vyznačuje pouze délkou a šířkou.
- 3 D Trojrozměrný obraz vyznačující se délkou, šířkou a objemem.

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce paní Mgr. Ladě Skácelové, MBA za její odborné vedení a cenné rady, které mi při vypracování této práce poskytla.

V Olomouci 21.4.2023

Obsah

| | |
|---|----|
| Obsah..... | 9 |
| 1. Úvod..... | 11 |
| Začátky využití rentgenového záření | 13 |
| 1.1.1. Objev rentgenového záření..... | 13 |
| 1.1.2. První průkopníci..... | 13 |
| 1.1.3. Ernest Wilson (1871-1911)..... | 14 |
| 2. Radiační ochrana..... | 14 |
| 3. Radiodiagnostika a válečné konflikty | 16 |
| 3.1.1. Začátky vojenské radiologie..... | 16 |
| 3.1.2. Radiologická služba za první světové války (1914-1918)..... | 17 |
| 3.1.3. Vojenská radiologie od druhé světové války až po dnešní dobu | 17 |
| 4. Rozvoj radiologie v Čechách | 18 |
| 4.1.1. Radiologie v Olomouci | 18 |
| 5. Konvenční radiologie | 19 |
| 2.1 Sjednocení vyšetřovacích postupů | 20 |
| 5.1.1. Dr. Sebastian Gilbert Scott..... | 21 |
| 6. Radiologický asistent | 21 |
| 7. Charakteristika RTG záření..... | 22 |
| 7.1.1. Vlastnosti RTG záření | 22 |
| 7.1.2. Stavba rentgenového přístroje..... | 22 |
| 8. Vznik obrazové dokumentace | 23 |
| 8.1.1. Filmová radiografie | 23 |
| 8.1.2. Zesilovací fólie..... | 24 |
| 8.1.3. Clony a filtrace záření | 24 |
| 8.1.4. Přímá i nepřímá digitální radiografie | 25 |
| 8.1.5. Kontrastní látky | 26 |
| 9. Ultrazvuk..... | 26 |
| 9.1.1. Historický vývoj..... | 26 |
| 9.1.2. Dnešní sonografie..... | 27 |
| 10. Výpočetní tomografie (CT) | 27 |
| 10.1.1. Raný vývoj..... | 27 |
| 10.1.2. Vývoj CT skeneru..... | 28 |
| 10.1.3. Spirální CT | 29 |

| | | |
|---------|--------------------------------------|----|
| 11. | Magnetická rezonance | 30 |
| 11.1.1. | Teoretické základy..... | 30 |
| 11.1.2. | Funkce a stavba MRI..... | 31 |
| 11.1.3. | Vývoj konstrukce..... | 31 |
| 11.1.4. | Využití magnetické rezonance..... | 32 |
| 12. | Závěr..... | 33 |
| 13. | Seznam bibliografických zdrojů:..... | 34 |

1. Úvod

Tato bakalářská práce mapuje vývoj diagnostického zobrazování v radiologii. Zabývá se původními poznatky v této oblasti a jejich uvedením do praxe. Podstatná část je věnována nejen průkopníkům radiologie, ale také přístrojové technice od počátků až do dnešní podoby. Předkládá konvenční poznatky o radiologii a také o ultrazvuku, výpočetní tomografii a magnetické rezonanci. Práce dále nastiňuje rozvoj radiologie ve válečných konfliktech nejen novodobých, ale i těch dřívějších. Pro vytvoření práce byly položeny základní otázky: „Jak se vyvíjela radiodiagnostika od prvního objevu Roentgenových paprsků až po dnešní dobu? A jaký vliv měly paprsky na zdraví lidí, kteří s nimi pracovali a pohybovali se v jejich blízkosti?“

Pro zpracování bakalářské práce byly zadány tyto cíle:

Cíl 1: Přiblížit vývoj radiologické diagnostiky.

Cíl 2: Poukázat na důležité osobnosti, které výrazně přispěly k pokroku v oboru radiodiagnostiky.

Cíl 3: Nastínit faktografické mezníky v dějinách radiodiagnostiky.

Cíl 4: Přiblížit stavbu vybraných diagnostických přístrojů.

Cíl 5: Ukázat výhody pokroku dnešních radiodiagnostických přístrojů.

Cíl 6: Přiblížit vývoj oboru radiologický asistent.

Pro vytvoření cílů práce byla použita literatura:

HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.

KREJČÍ, Přemysl. Dentální radiologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006. ISBN 80-244-1452-x-.

PICKOVER, Clifford A. Kniha o medicíně: od šamanů k robotické chirurgii : 250 milníků v historii lékařství. Přeložil Ivan ŠTOLL, přeložil Jan KLÍMA, přeložil Pavel PECHÁČEK. Praha: Argo, 2021. Zip (Argo: Dokořán): Dokořán). ISBN 978-80-7363-783-5.

ROSENBUSCH, Gerd a Annemarie DE KNECHT-VAN EEKELEN. Wilhelm Conrad Röntgen: The Birth of Radiology. 1. Switzerland: Springer Cham, 2019. ISBN 978-3-319-97660-0.

SCHOTT, Heinz, NIKLÍČEK, Ladislav, ed. Kronika medicíny. Praha: Fortuna Print, 1994. ISBN -80-85873-16-8.

THOMAS, Adrian. 125 years of radiological research— BJR 's history is radiology's history. The British Journal of Radiology [online]. 2020, 93(1105). ISSN 0007-1285. Dostupné z: [doi:10.1259/bjr.20209002](https://doi.org/10.1259/bjr.20209002)

Začátky využití rentgenového záření

1.1.1. Objev rentgenového záření

Roku 1895 v Německém Würzburgu provedl profesor fyziky Wilhelm Conrad Roentgen pokusy se zápornou katodovou trubicí. V pátek 8. listopadu si při svém experimentu povšiml, že při zapojení Hittorovy trubice září fluorescenční stínítko. Záření bylo viditelné i ve vzdálenosti dvou metrů. Roentgen tehdy nabyl dojmu, že objevil nové neznámé záření, které pojmenoval paprsky X. Tento objev publikoval 28. prosince na univerzitě ve Würzburgu. Následně experimentoval s paprsky X, přičemž se zaměřil na jejich absorpční vlastnosti. Získával stíny objektů zachycených na fotografické desce nebo na stínítku. První historický snímek byl proveden Roentgenem 22. prosince 1895. Vznikl na fotografickém papíru při dvacetiminutovém ozařování ruky jeho manželky. Zachytil zde kosti její ruky. Za tento objev byl Röntgen v roce 1901 poctěn první Nobelovou cenou za fyziku (Thomas a Banerjee, 2013; Schott et al., 1955).

1.1.2. První průkopníci

Hlavní postavou ranné radiologie ve Velké Británii i ve světě byl Charles Thurstan Holland (1863–1941) (Thomas a Banerjee, 2013).

Pracoval jako praktický lékař v Liverpoolské nemocnici. Po objevu rentgenových paprsků se na něj v únoru 1896 obrátil profesor fyziky Oliver Lodge z Liverpoolské univerzity. Chtěl provést experiment s rentgenovými paprsky na muži, který se potýkal se střelným zraněním z mládí. Po devadesátiminutové expozici ruky se jim povedlo zobrazit zaklíněné kulky v ruce. Po tomto úspěchu díky finanční podpoře nemocnice založil Charles Thurstan Holland první radiologické oddělení (Bell a Banerjee, 2018).

V průběhu svého života zhotovil celkem 261 snímků klasických zlomenin, mrtvě narozeného plodu či zvířecích mumií. Na snímcích prováděných rentgenkou byly zobrazované kosti v různých růstových fázích (Thomas a Banerjee, 2013).

Rentgenka s maximálním výkonem 12 V neměla kolimaci paprsků. Na poměry dané doby byly Hollandovy rentgenové snímky velmi kvalitní. V průběhu své kariéry se vypracoval na post prezidenta Roentgenovy společnosti (1904–1905) a v roce 1925 se stal prezidentem prvního mezinárodního radiologického kongresu, konajícího se v Londýně (Bell a Banerjee, 2018).

Významný byl také Dawson Turner, který poskytoval první placené radiologické služby již 4 měsíce po objevu rentgenového záření. Pracoval jako lékař v Edinburgh Royal Infirmary. Ze zdravotních důvodů, a to především kvůli vysokým dávkám ozáření, musel předčasně odejít. Jeho jméno je dodnes známo z Památníku obětí v Hamburku. Tento památník je vzpomínkou na lékaře a radiologické pracovníky, kteří položili život při experimentování se zářením (Thomas a Banerjee, 2013).

1.1.3. Ernest Wilson (1871-1911)

Životní příběh Ernesta Wilsona ilustruje nebezpečí, která sužují první průkopníky. Ernest Wilson působil od roku 1899 jako laický asistent (radiograf) na elektroterapeutickém oddělení v Londýnské nemocnici (nyní Royal London Hospital) (Thomas a Banerjee, 2013).

Jeho práce spočívala v manipulaci s fluorescenční obrazovkou, přičemž byl vystaven radiačnímu záření. Záření dopadalo především na ruce. Právě ty během krátké doby, přibližně do jednoho roku, vykazovaly známky poškození rentgenovým zářením. Jako první se u něho projevila radiační dermatitida a následně absces v měkké tkáni v blízkosti nehtu na prostředním prstu (Thomas a Banerjee, 2013).

V červnu 1904 mu byla amputována část pravého prostředního prstu. To však nestačilo a následovala série amputací, které provázelo chronické hnisání. Wilson v průběhu času pořizoval působivou sérii rentgenových snímků svých rukou, které demonstrovaly postupné progresivní změny. V červnu 1910 mu byla provedena poslední amputace. Pahýl prstu byl oteklý a bolestivý. Vzorky z kůže prstu vykazovaly známky nádoru kůže, který se šířil podél kosti. Wilsonův zdravotní stav se nadále zhoršoval a 1. března 1911 ve věku 40 let zemřel (Thomas a Banerjee, 2013; The Argus, 1910.)

Tvrdil, že nebyl mučedníkem vědy, ale její obětí. Podobně jako Dawson Turner i Ernest Wilson je znám z Památníku obětí v areálu nemocnice svatého Jiří v Hamburku. (Thomas a Banerjee, 2013).

2. Radiační ochrana

Vznik radiační ochrany v počáteční fázi v 19. a 20. století můžeme rozdělit do čtyř období: Průkopnické období, kdy první experimentátoři poznávali nebezpečné vlastnosti RTG paprsků na vlastní kůži. Druhé období, charakterizované stagnací s domnělou představou pochopení vlastností paprsků a jejich účinků na tělo. Třetí období, období pokroku, kdy poranění pacientů

a personálů ukázaly mezery v dosavadním vědění o tematice záření a také výzkumná činnost projektu Manhattan s následnou studií výsledků využití atomových bomb (Thomas a Banerjee, 2013).

Poslední, čtvrté období je období moderní radiační ochrany pod kontrolou státních a kontrolních ústavů, například Mezinárodní komise radiologické ochrany (Seidl, 2012).

V prvním období nekontrolovaných pokusů a lékařských zákroků v době 1895 až 1905 byly slepě přehlíženy ojedinělé případy kožních změn, bolestivých vředů a puchýřů. Teprve zvýšená četnost případů vyvolala podezření o možných škodlivých efektech ozáření. Několik vědců včetně W. C. Roentgena upozornila na možné nepříznivé účinky, ale nadšení z vynálezu tyto obavy umístilo do pozadí. Elihu Thompson rok po objevu RTG záření provedl experiment na svém těle. Opakovaně exponoval malíček levé ruky rentgenkou půl hodiny denně, výsledky na sebe nenechaly dlouho čekat a již za pár dnů se u něho objevilo zarudnutí, otok, puchýře. Lékařská společnost však zaujala odmítavý postoj. Teprve v roce 1900 byla přijata opatření na krytí rentgenky a zvětšení vzdálenosti. Lékaři vymezily oblasti zájmu, začalo se s kolimací svazku. Výraznou pomocí se ukázaly zesilovací fólie, které přispěly ke zmenšení dávky. Krokem kupředu bylo použití většího napětí na rentgence a zkrácení expozice. Vlny soudních procesů postižených pacientů při špatném používání RTG přístrojů urychlily proces.

Následovalo období stagnace (1905-1925), kdy se předpokládalo, že daná opatření jsou dostačující. Jediným krokem kupředu byl nápad Vernona Wagnera, výrobce rentgenek, a to nosit v kapse fotografickou desku. Primitivní předchůdce dnešního dozimetru potvrdil obavy. Úspěchem doby bylo potlačení deterministických příznaků, bohužel stálá expozice přispívala ke vzniku stochastických účinků. Vernon Wagner zemřel v roce 1908, pouhý půlrok poté, co informoval Americkou Roentgen Society na sjezdu v Římě o svém nápadu. Průlom nastal až v roce 1915, kdy Britská Roentgen Society přijala jednoduché standardy pro ochranu personálu, povinné na všech pracovištích Britského Impéria. Probuzení nastalo v roce 1925, kdy Arthur Mutscheller stanovil toleranční dávku 0,2 rem na rok (20 Sv). Dávka vyjádřená v jednotce rem určovala vliv záření na tkáň. Toleranční dávku by nebylo možné zavést bez použití osobních dozimetrů, které vznikly vylepšením Wagnerova nápadu. V roce 1928 byla oficiálně zavedena jednotka Roentgen, která popisovala velikost dávky (1 Roentgen = 0,01 Gy). Nutnost kontroly záření vedla ke vzniku International X – ray and Radium Protection Committee, další rok vznikla společnost U.S. Advisory Committee on X-ray and Radium Protection, předchůdkyně dnešní National Council on Radiation and Measurements (Thomas a Banerjee, 2013).

V roce 1931 byla vydána první celosvětová studie na téma radiační ochrany. Za pět let práce došlo k úpravě limitu na 0,02 R/den. Do roku 1941 se tak celková dávka snížila na dávku 5 rem za rok. Projekt Manhattan, který prováděl vývoj atomové bomby, se také zabýval vlivem záření na člověka. V průběhu tohoto projektu se vědcům povedlo určit biologický vliv záření na člověka (Thomas a Banerjee, 2013).

Veličiny používané ve zdravotnictví v současnosti jsou odvozené od původních veličin. Příkladem může být jednotka Roentgen, jejímž dnešním ekvivalentem je jednotka Gray (Gy). Ta vyjadřuje energii záření absorbovanou objektem o dané hmotnosti. Důvodem odvození veličin od původních je například praktická stránka. Nižší radiační zátěž pracovníků a pacientů ve zdravotnictví se v dnešní době vyjadřuje přehlednějšími jednotkami (Seidl, 2012).

3. Radiodiagnostika a válečné konflikty

3.1.1. Začátky vojenské radiologie

První nápady o možnosti využití RTG záření ve vojenské medicíně nacházíme již v rozvahách pruského ministerstva války. V roce 1896 padla myšlenka o jeho využití, leč pouze teoretická. Ve stejném roce Italská armáda utrpěla těžkou porážku v bitvě pod Aduo proti Etiopii. Italský lékař podplukovník Giuseppe Alvaro z Neapolské vojenské nemocnice úspěšně určil polohu kulek v tělech dvou raněných vojáků a úspěšně je vyoperoval. Řecko-turecká válka v roce 1897 umožnila Britskému Impériu poprvé použít RTG techniku, ale nedošlo k žádnému pokroku. Technika italského chirurga se stala standardem - poraněnou oblast fotografovat v předozadní poloze a k určení hloubky doplnit o bočnou projekci. Pokud to technika umožňovala, používal se fluoroskop, který byl rychlejší. Dosud nebyly zmapovány účinky škodlivého záření (Mould, 2015).

Změnu přinesla britská kampaň Tirah na hranicích mezi Afghánistánem a Britskou Indií (1897-1898). Kampaň vedená v horách, v nedostupných oblastech 100 mil od nejbližší zásobovací linie, si vyžádala vytvoření samostatných jednotek lékařů, schopných obsluhovat RTG přístroje. Po skončení kampaně se mobilní jednotky RTG operátérů, vybaveny zmodifikovanou Crooksovu trubicí, staly standardem v Britské armádě (Thomas a Banerjee, 2013).

Samotné vyvolávání snímků v bojových podmínkách bylo velmi obtížné. Improvizované temné komory neposkytovaly dostatečné zastínění. Filmové desky byly často poškozeny špatným zacházením a skladováním. Příkladem může být Válka o Nil (1898), kdy

snímky vyvolávané zásadně večer kvůli nepříznivým teplotám byly částečně znehodnoceny všudypřítomným pískem. S výbuchem první světové války došlo k zásadní změně v organizaci vojenských polních nemocnic. Počáteční mylné kalkulace o krátkodobém konfliktu donutily reorganizovat systém (Mould,2015).

3.1.2. Radiologická služba za první světové války (1914-1918)

Z počátku byla RTG stanoviště uložena ve větších nemocnicích na týlu. S postupem války a se vzrůstající důvěrou polních chirurgů v možnosti relativně rychlého zobrazení, a hlavně s velkým počtem raněných bylo rozhodnuto o přesunu do blízkosti frontové linie mobilních stanic RTG. Marie Curie-Sklodowska vyvinula a sama vybavila 18 vozů (voiture radiologique). Akumulátor rentgenového přístroje byl napojený na motor vozidla. Aktivně rentgenovala raněné vojáky při frontové linii. Prvními členy sboru byli pracovníci francouzského rentgenologického institutu v Paříži. Skłodowska školila personál k obsluze, mezi jinými i svou dceru Iréne. Francouzský radiolog Antoine Béclère založil výcvikovou školu Val-de-Grace. Také technika se vyvíjela, z počátečních plynových trubice a fotografických desek se přešlo na Coolidgeovy trubice a Potter-Buckyho diafragmy. Se vstupem Spojených států do války došlo k celkové modernizaci většiny stanovišť. Zranění byly odesílány z fronty polní sanitkou do odklízecí stanice, pár mil za frontovou linii. Tam, pokud to bylo nutné, se pacienta podrobilo radiografii a provedlo operaci (Mould,2015).

Po skončení války byla většina radiologických jednotek rozpuštěna, bohužel mnoho lékařů se potýkalo s následky ozáření. Pokroky v meziválečném období umožnily technikům provádět skiaskopické vyšetření v polních podmínkách. Příkladem může být britský rentgenový přístroj Britské armády MX2, který umožňoval provádět jak skiagrafické, tak skiaskopické vyšetření podle nutnosti (Mould,2015).

3.1.3. Vojenská radiologie od druhé světové války až po dnešní dobu

Na začátku 2. světové války většina stanovišť byla schopná denně provést kolem 100 vyšetření. Pokud bylo zraněných více, ranění museli být převezeni na jiné stanoviště. Vietnamská válka (1965-1973) díky novým vrtulníkům zkrátila čas převozu raněných z hodiny na 15 minut. Výrazně však nepřispěla k rozvoji. Jednotky byly vybaveny mobilními kontejnery s plně vybavenou radiografickou stanicí, které se do roku 1980 staly základem vojenského logistického systému. Pokrok umožnil až moderní vývoj telemedicíny, který umožnil převést snímky do virtuálního prostředí. První vojenské použití nastalo až v roce 2002 za války

v Bosně, kdy snímky raněného amerického vojáka popsal německý lékařský tým v Berlíně. Současné vojenské jednotky jsou vybaveny mobilními RTG přístroji, které se dají přenášet na zádech. Snímky je možné zaslat s předstihem do polní nemocnice a raněného je možné ihned po převozu ošetřit (Thomas a Banerjee, 2013).

4. Rozvoj radiologie v Čechách

Objev nového vynálezu nešel pozornosti ani českému lékařství. Čeští lékaři spadali pod správu Rakousko-Uherské monarchie. Díky tomu byli svědky veřejných pokusů dr. Röntgenova a již v únoru 1896 na Fyzikálním ústavu pražské univerzity provedli obdobné experimenty. Provedli také snímky pro lékařské využití. Nedůvěru lékařů k novému vynálezu překonal až Rudolf Jedlička. Shodou náhod se ocitl v pražském hotelu U černého koně. Majitel podniku zakoupil rentgenový přístroj k pobavení hostů, tehdy velmi módní doplněk. Během zábavy jeden z hostů právě prosvěcoval oblast žaludku. Díky šťastné náhodě si Jedlička všiml podivného objektu v těle člověka. Později toho dne přesvědčil Dr. Karla Maydla k operaci. Jak se později ukázalo, šlo o spolknutý hřebík, který se ze žaludku povedlo odstranit. Tato událost přesvědčila nedůvěřivého Dr. Maydla o možnostech využití záření. Od této doby začali v Čechách postupně vznikat nová rentgenologická pracoviště (Schott et al., 1955)

4.1.1. Radiologie v Olomouci

Významným lékařem, který se zasloužil o rozvoj radiologie na Moravě, byl MUDr. Rudolf Bacher. Narodil se 8. července 1877 v Zábřehu jako syn židovského lékaře. Studoval na německé lékařské fakultě v Praze. V roce 1902 nastoupil do tehdejších Zemských ústavů v Olomouci. Jeho prvním pracovištěm bylo chirurgické oddělení primáře Felixe Smolera. Od samého začátku se zajímal o diagnostickou metodu pomocí paprsků X a jejich využití v medicíně. Léčebné účinky záření začal systematicky používat už od roku 1908, například při léčbě kožních nádorů. Po Praze tak byla Olomouc druhá, kde se na našem území začalo pracovat metodou radioterapie. V roce 1910 již pracoval jako samostatný rentgenolog. Později stál u zrodu samostatného oddělení radiologie v Olomouci v roce 1922. Především jeho zásluhou se radioterapie, tedy jedna z nejúčinnějších současných metod léčby zhoubných nádorů, provádí ve Fakultní nemocnici Olomouc už sto let. Počátkem 20. století ještě nebyly známy nepříznivé účinky rentgenového záření a nebyla přijata ani žádná opatření, která by chránila zdravotnický personál. Naneštěstí pro doktora Bachera se u něj v roce 1917 objevily

první příznaky choroby z ozáření v důsledku dlouhého a opakovaného vystavení vysokým dávkám. Nejdříve bolestivé kožní změny, které se později změnily na rakovinný nádor. V roce 1922 podstoupil amputaci pravé paže, která však nepříznivý osud již nemohla zvrátit. 9. září 1925 MUDr. Rudolf Bacher svůj dlouhý boj s rakovinou prohrál. Tento průkopník radiologie se stal obětí ještě nedostatečného vědeckého poznání smrtelného nebezpečí z ozáření. Je pochován v židovské části Ústředního hřbitova v Olomouci. Z dohledaných materiálů bylo zjištěno, že samotné vyšetření a léčbu pomocí rentgenového záření neprováděl pouze lékař. Spolu s ním prováděl výkony i další zdravotnický personál. První spolupracovnicí MUDr. Bachera byla řádová sestra Fulgencie Schimchalová. Také ona zemřela na následky nemoci z ozáření. Jména obou těchto průkopníků radiologie v Olomouci jsou spolu s dalšími zapsána na Památníku obětem radiologie v Hamburku. Na počest obdivuhodné a obětavé práce MUDr. Bachera byla po něm pojmenovaná i jedna z ulic v Olomouci (MAŇÁK, 2010).

5. Konvenční radiologie

Technika využívající rozdílné absorpce rentgenového záření ve tkáních se nazývá konvenční radiologie. Její vývoj je úzce spjat s objevem X paprsků Konráda Wilhelma Röntgena (Schott et al., 1955).

První pojednávání o využití rentgenového záření začala vycházet v roce 1896. Jednalo se například o publikaci v časopisu *Wiener klinische Wochenschrift*. Ta vzbudila zájem odborníků, kteří začali více zkoumat možnosti využití tohoto záření. V říjnu téhož roku Max Levy-Dorn založil rentgenové oddělení v nemocnici Rudolfa Virchowa v Berlíně. Mezi lety 1906 až 1928 byl přednostou tohoto institutu. V důsledku radiačního ozáření utrpěl během své práce zmrzačení rukou, protože rizika rentgenového záření byla stále neznámá (Schott et al., 1955; Kahle, 1985).

Radiologické vyšetření bylo indikováno pro potřeby diagnostiky kosterní soustavy, a to zejména při zlomeninách a traumatech s podezřením na cizí tělesa. Snímky byly vyvolávány v temných komorách na skleněné desky potažené kolodiovým roztokem. Snímky větších objektů byly obtížně hodnotitelné z důvodu sumace kostí a pohybových artefaktů způsobených dlouhým časem expozice. Důvodem byl také nedokonalý systém generování rentgenových svazků. Hlavním generátorem byla Crooksova trubice s maximálním napětím 12 V (Thomas a Banerjee, 2013).

Na přelomu let 1896 a 1897 se na Vídeňské univerzitě pořádala řada přednášek o využití rentgenového přístroje. Přednášející Röntgen tady předal své poznatky také doktorovi Heinrichu Albertu Schönbergovi. Ten díky získaným poznatkům založil Rentgenologický institut v Hamburku a v roce 1897 začal publikovat časopis *Pokroky v oblasti rentgenových paprsků (Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen)*.

Před zařazením rentgenova záření do vyšetřovacích metod preferovali lékaři skiaskopické vyšetření s použitím kryptoskopu. Byl to přístroj, který pomocí fluorescenčního stínítka vizualizoval obraz. Jednalo se tedy o vyšetření v reálném čase, kdy byl za stálého proudění rentgenova záření zobrazen živý obraz kostí a tkání v těle pacienta. Pod dohledem Rudolfa Grasheye se při operačních zákrocích v roce 1904 začal využívat rentgenův přístroj. První snímky se vyvolávaly na fotografické sklo, a to díky Richardu Maddoxovi, který vynalezl želatinovou suchou desku potaženou bromidem stříbrným. První specializovaný film na bázi dusičnanu s celulózou byl představen firmou Kodak v roce 1913. Modifikace se postupně dočkaly i skiagrafické desky (Thomas a Banerjee, 2013).

2.1 Sjednocení vyšetřovacích postupů

Na začátku radiologie se objevil problém s definicí normálních stavů. Radiologové uměli pořídit snímky, ale často naráželi na problém. Nevěděli, zda je daná oblast v pořádku nebo se jedná o patologii, nebo jde o pouhý artefakt. Diagnostika rentgenovými paprsky byla již zavedena do běžné lékařské praxe. Špatná kvalita obrazu, nejednotné dávky záření a nestandardní postupy ztěžovaly lékařskou práci. Před objevem rentgenova záření měla lékařská komora pouze hrubé povědomí o anomáliích v lidském těle, zejména tedy o viditelných odchylkách. Lékaři neměli při náhledu na snímky dostatečné povědomí o celé struktuře těla. Primární vědomosti tak získávali na základě pitevních studií (Thomas a Banerjee, 2013).

Nová metoda nabízela možnosti zmapování dříve nezjištěných odchylek, ale bylo třeba rozlišit patologii tkání od zastínění způsobeným špatnou expozicí. Nejasnosti vedly často ke zbytečným intervencím, kdy se ukázalo, že oblast zájmu byla pouze zastíněná sumací kostních struktur. Častým příkladem byla visceroptóza (pokles břišních orgánů pod jejich přirozenou polohu) nebo bloudivé ledviny. Nejednotné provádění snímku vedlo k chybám, kdy se snímky prováděly v leže nebo ve stoje. Docházelo tak k chybným interpretacím, kdy patologické známky byly pouze fyziologickým posunem (Thomas a Banerjee, 2013).

Před příchodem moderního lékařského zobrazování většina vrozených variací nebyla popsána. Tyto variace byly poprvé popsány Albanem Köhlerem (1874–1947). Köhler byl zakládajícím členem německé Rentgenovy společnosti a v roce 1912 se stal jejím prezidentem. Köhler popsal například variace uspořádání patelly. Jeho kniha: *Lexikon der Grenzen der normalen und der Anfänge des Pathologischen in röntgenbilde* vyšla v roce 1910 a stala se ihned klasikou (Bartoniček, 2017).

5.1.1. Dr. Sebastian Gilbert Scott

Významnou osobností v době standardizace lékařské diagnostiky byl Dr. Sebastian Gilbert Scott. Pod jeho dohledem byla v letech 1931 vydána kniha *Radiology in Relation to Medical Jurisprudence*. Scott zdůraznil nutnost standardizovat rentgenové snímky. Stejně projekce usnadnily komunikaci napříč různými nemocničními odděleními. Nové modely přístrojů vedly ke zlepšení kvality obrazu, což umožnilo přesnější anamnézu, ale také si vyžadovalo specializovaný personál. Bylo nutností specializovat lékaře - radiology, kteří budou dokonale obeznámeni s problematikou rentgenové anatomie. Ve 20. letech 20. století byla radiologie uznána jako samostatný obor v lékařství. Radiolog byl definován jako specializovaný lékař, obeznámený s interpretací a tvorbou RTG snímků. Jednou z prvních kvalifikací byl diplom z lékařské radiologie a elektrografie. Tento diplom udělovala University of Cambridge od roku 1922 (Thomas a Banerjee, 2013).

6. Radiologický asistent

Potřeba specializovaného personálu na práci se zdravotnickým zařízením se ukázala s otevřením prvních oddělení s rentgenovým zářením. Lékaři nebyli schopni zvládat práci s přístroji, manipulovat s pacienty a hodnotit výsledky vyšetření najednou. Prvními pracovníky byli narychlo přeškolení lidé ochotní pracovat s technologickou novinkou. Vyvolávali fotografie v temných komorách a manipulovali s fluoroskopem. Profese, původně zdravotnických techniků, se postupně vyvíjela. Vycházely příručky a doporučení. V první polovině 20. století se tato profese stala samozřejmostí. Společnost Radiographer, založená v roce 1920, pracovala na přeškolení radiologických techniků. Společnost napsala všem nelékařským technikům, aby se přihlásili k členství. Ti, kteří pracovali na pracovištích déle jak 10 let, obdrželi členství automaticky. Ostatní členové museli podstoupit atestační zkoušku, která prověřovala zdatnost v obsluze přístroje, znalost expozičních parametrů a také správné polohování pacientů. První zkouška se uskutečnila v lednu roku 1922. Přihlásilo se na ni 45

studentů, z nichž úspěšně prospělo 20. Absolventům bylo uděleno řádné osvědčení společnosti Radiographer. Tímto byli položeny základy dnešní radiologické asistence. (Thomas a Banerjee, 2013).

Dnešním radiologickým asistentem je nelékařský zdravotnický pracovník, který provádí vyšetření na radiologickém oddělení a oddělení nukleární medicíny. Podílí se také na léčebné radioterapii u onkologických pacientů. Je obeznámen s legislativou a s radiační ochranou na pracovišti. Radiologickým asistentem se v České republice stává absolvent bakalářského studia oboru radiologický asistent (Vomáčka, 2012.)

7. Charakteristika RTG záření

Elektromagnetické záření o krátké vlnové délce (10^{-12} m– 10^{-8} m) vzniká při brzdění elektronů. Prochází hmotou i vakuem. Intenzita svazku slábne se čtvercem vzdálenosti. Pro účely radiodiagnostiky se RTG záření vytváří v rentgence. Pro diagnostické účely se používá záření v rozmezí 10^{-11} m– 10^{-9} m (Vomáčka, 2012.).

7.1.1. Vlastnosti RTG záření

Luminiscenční efekt

Při interakci s určitými látkami (CaWO_4 , ZnS) se RTG záření přemění na viditelné světlo.

Fotochemický efekt

Interakcí RTG záření na fotografický materiál dochází ke zčernání materiálu.

Ionizační efekt

Ionizovat mohou okolní atomy tím, že jim fotony předají část nebo celou svou energii.

Biologický efekt

Při interakci s živým organismem dochází k poškození buněk. Míra poškození je závislá na velikosti dávky a na době, po jakou byl organismus vystavený ionizujícímu záření (Seidl, 2012).

7.1.2. Stavba rentgenového přístroje

Vznik RTG záření je umožněn díky přístroji, jehož hlavní součástí je rentgenka. Jedná se o silně vakuovanou trubici složenou ze dvou elektrod, katody a anody. Katoda je tvořena wolframovým drátkem, který je zatočen do spirály a nachází se uvnitř rentgenky. Po zapojení katody do proudu o velikosti 10 V a 7 – 10 A emituje elektrony tvořící tzv. elektronový mrak (Vomáčka, 2012).

Anoda tvoří kladnou elektrodu v rentgence. Kvůli vysoké teplotě, která vzniká při tvorbě RTG svazku, musí být vyrobena z odolného kovu, tím je nejčastěji wolfram. Anoda může být dvojího typu. Starším typem je pevná anoda tvořena stacionárním wolframovým terčem, na který dopadají elektrony. Z důvodu malé tepelné kapacity a měkčího záření je dnes využívána zejména v dentální radiologii (Seidl, 2012).

Novějším typem je rotační anoda, umístěna na rotačním disku. Rotace disku je umožněna díky vlastnímu zdroji napájení, přičemž efektivně zpomaluje zahřívání anody při expozici. Rotační anoda je aktuálně používaná ve většině radiologických přístrojů (Vomáčka, 2012).

8. Vznik obrazové dokumentace

Při tvorbě snímků dochází k průchodu záření pacientem, přičemž část záření se částečně absorbuje v těle pacienta. Míra absorpce se různí, závisí od tloušťky a hustoty tkáně. Záření, které není absorbované, je zachyceno detektorem obrazu. V ranných začátcích se používal fotografický film a následně paměťové fólie. V dnešní době se využívají digitální detektory – flat panely (Seidl, 2012).

8.1.1. Filmová radiografie

Vznik rentgenového obrazu byl v počátcích objevu v roce 1895 úzce spjat s pokrokem ve vyvolávání fotografických snímků. Ty se vyvolávaly obdobně jako klasické fotografie. Snímky byly zaznamenávány na skleněné desky, film a papír. V roce 1889 George Eastman, který založil společnost Kodak, představil fotografický film vyrobený z dusičnanu celulózy. Materiál byl velmi hořlavý, ale umožňoval vytvořit svitkový film. Tradiční ruční zpracování snímků bylo postupně automatizováno. V roce 1956 firma Kodak zavedla válečkový automat na zpracování snímků (Thomas a Banerjee, 2013).

RTG záření po průchodu pacientem bylo zachyceno na filmový materiál. Modernější verze nepoužívaly vysoce hořlavou celulózu, ale místo toho byly potaženy emulzí krystalů Bromidu stříbrného (dále AgBr). Po dopadu RTG nebo luminiscenčního záření na emulzi docházelo k absorpci energie. Absorpcí vznikl latentní filmový obraz, který bylo třeba pomocí fotochemického procesu vyvolat. Samotný proces vyvolávání se uskutečňoval pomocí vývojky a ustalovače. Směs redukčních činidel, urychlovačů, konzervačních látek a zpomalovačů tvořily dohromady vývojku, zásaditou směs o pH 10-11. Rolí vývojky při vyvolávání filmu bylo uvolnění chemické vazby AgBr. Naopak rolí ustalovače ve vyvolávacím procesu bylo

vyplavení neozářených částí AgBr. Ustalovač byl tvořen sirnatem sodným a siřičitanem solným, někdy draselným. Proces vyvolávání filmu byl prováděn v temných komorách, které se skládaly ze dvou částí. První byla suchá pracoviště, kde se prováděla obecná příprava filmu, ve druhé části takzvané mokré, byly umístěny chemikálie potřebné k vyvolání filmu (Vomáčka, 2012).

8.1.2. Zesilovací fólie

Z důvodu malé účinnosti RTG záření na fotografický papír se začaly v radiodiagnostice využívat zesilovací fólie. Ty využívaly luminiscenční vlastnost RTG záření. Pohlcené záření se přeměnilo na viditelné světlo, které osvitilo film. Novější generace fólií využívaly vzácné zeminy z gadolinia, lanthanu a halogenidů barya. Zpočátku bylo pro dosažení maximálního efektu využíváno dvou zesilovacích fólií. Přední, blíže k pacientovi, osvětlovala fotografický film z jedné strany. Druhá fólie, umístěna pod fotografickým filmem, o větší zesilovací schopnosti osvětlovala druhou stranu. Výhoda zesilovacích fólií spočívala v lepším kontrastu obrazu a v možnosti snížit dávku u pacienta. Časem byly tyto dvě fólie nahrazeny dvěma univerzálními. (Vomáčka, 2012).

8.1.3. Clony a filtrace záření

Fotony emitované rentgenkou obsahují plné spektrum rentgenových paprsků. Část spektra je třeba filtrovat, aby nedocházelo k zbytečné radiační zátěži pacienta. K tomuto účelu slouží zabudované filtry v rentgence. Tyto filtry jsou tvořeny tenkou vrstvou mědi nebo hliníku, které pohltí fotony o malé energii. Ty by zbytečně zatěžovaly pacienta a neposkytly žádnou diagnostickou informaci. Dodatečně jsou v krytu rentgenky zabudovány primární posuvné clony, které slouží k vymezení primárního svazku a tím i vyšetřované oblasti. Tyto clony jsou umístěny mezi ohniskem rentgenky a vyšetřovaným objektem. Vhodné vymezení primárního svazku přispívá k lepší kvalitě obrazu a také k menší radiační zátěži pacienta. Pro zlepšení kvality obrazu přispívají také sekundární clony (Seidl, 2012).

Rozdělují se podle počtu olověných lamel na ploše jednoho centimetru a stavbou připomínají mřížku. Nejhrubší je Bucky-Potterova clona obsahující 10 lamel na 1 cm. Ta musí být při expozici v pohybu, aby nedošlo k vytvoření artefaktů z důvodu hrubosti lamel. Jemnější je Lysholmova clona (28 lamel na 1 cm). Není s ní třeba pohybovat a své využití má kromě klasické skiografie i u pojízdných rentgenových kompletů. Málo využívanou je Smithova clona

(50/1 cm). Ta nejlépe zachytává sekundární záření, ale nadměru zvyšuje dávku záření (Vomáčka, 2012).

Sekundární clony jsou umístovány mezi ozařovaným objektem a filmem. Jejich úlohou je absorbovat vychýlené fotony vzniklé interakcí Roentgenova záření s tělem pacienta, přičemž propustí pouze kolmo směřující fotony (Vomáčka, 2012).

8.1.4. Přímá i nepřímá digitální radiografie

Od roku 1984, kdy firma 3M představila laserový zobrazovač, začaly všechny nemocnice postupně přecházet k digitálnímu zaznamenávání snímků (Thomas a Banerjee, 2013).

Dřívější zobrazení s využitím fotografického filmu a zesilovacích fólií je v dnešní době plně nahrazeno digitálním zobrazením. Přejod z analogových systémů do digitálních byl zpočátku umožněn díky nepřímé digitalizaci (Seidl, 2012).

Princip nepřímé digitalizace spočívá ve využití paměťové fólie, jejíž citlivá vrstva je složená z mikrokystalů halogenidů barya obohacených europiem nebo jiného luminoforu. Záření, které není absorbované vyšetřovacím objektem dopadne na paměťovou folii, elektrony luminoforu přejdou na vyšší orbitu, kde zůstanou v tzv. elektronové pasti. Energeticky nabitě elektrony mikrokystalů se nemohou vrátit na svou původní orbitu, kvůli přebytku energie. Energie se uvolní až v digitizéru pomocí ozáření laserem ve formě viditelného světla. To je následně pomocí fotonásobiče převedeno na elektrický impulz, který je počítačově zpracován do digitální podoby. Vzniklý digitální snímek je možné dále upravovat. Kazeta s paměťovou fólií se dá po osvětlení silným světlem opakovaně používat. (Vomáčka, 2012).

V současné době se převážně využívá přímá digitalizace. Ta využívá Flat-panely s dvojitou konverzí - s přímou a nepřímou. Nepřímá konverze využívá scintilační vrstvu ze sloučenin Luminoforu CsI nebo sloučenin gadolinia. Vzniklé světlo ze scintilační vrstvy, které je zachycené ve formě elektron – díra, detekují fotodiody. Následně elektrické náboje z fotodiody jsou pomocí TFT snímačů převedeny na digitální obraz. Přímá konverze využívá fotodiody vyrobené z amorfního selenu. Elektromagnetické záření po konverzi na elektrický signál přechází do kondenzátorů, kde se uchovává signál. Ten se následně pomocí A-D převodníku převede na digitální obraz. Velikost elektrického signálu viditelná na digitálním obraze je úměrná počtu fotonů RTG záření ve flat-panelu. Základem je detekční panel pixelů tvořící obrazovou matici 2000 x 2000 obrazových elementů. Jejich počet s pokrokem digitalizace vzrůstá (Seidl, 2012).

8.1.5. Kontrastní látky

Postupné zdokonalování vyvolávacích technik a RTG přístrojů pomohlo zdokonalit kvalitu snímků. Stále však umožňovala zobrazovat pouze kosterní soustavu a cizí tělesa v těle. Matné stíny měkkých tkání nedávaly dostatečnou diagnostickou spolehlivost. Velkou změnu přinesl rok 1921, kdy Jean Anthanase Sicard se svým kolegou Jacquesem Forestierem zobrazili zcela náhodně páteřní kanál. Lékaři si všimli, že u nemocného s bolestmi páteře došlo po podání injekce periodolu k viditelnému zobrazení páteřního kanálu. Jejich článek *Obecná metoda rentgenového vyšetření jodovaným olejem* dovolil lékařům nahlédnout na lidské orgány a posoudit jejich stav. Objev periodolu odstartoval vývoj a využití kontrastních látek (Thomas a Banerjee, 2013).

Kontrastní látka ovlivňuje absorpci elektromagnetického záření v těle. Zvýšení nebo snížení kontrastu tkáně umožňuje zobrazit struktury, které by nebylo možné dobře zobrazit při klasické skiografii. Kontrastní látky rozdělujeme na pozitivní (zvyšující) a negativní (snižující) (Heřman, 2014).

Současné pozitivní kontrastní látky obsahují sloučeniny solí organických sloučenin jodu a barya, například síranu barnatého. Ten je dnes využíván pro vyšetření gastrointestinálního traktu. Nejvíce využívanou je jodová kontrastní látka. Hojně se využívá při zobrazení cévního řečiště v intervenční radiologii a výpočetní tomografii. Nejčastěji se podává intravenózně a u některých pacientů může vyvolat alergickou reakci (Seidl, 2012).

9. Ultrazvuk

9.1.1. Historický vývoj

Z iniciativy doktora Iana Donalda zhotovila firma Kelvina Hughese ultrazvukové zařízení, které umožnilo vyšetřit břišní dutinu. Původní přístroj sloužil ke kontrole kvality železa pro ocelárnu. Hodnotil kvalitu odlitků a vyhledával praskliny ve slitině. Jednalo se o velmi jednoduchý přístroj schopný detekovat odražený signál. Zprávu o nové metodě podal v roce 1958 lékařský časopis *Lancet* (Thomas a Banerjee, 2013).

První ultrazvukové zařízení detekovalo odrazy ultrazvuku a převádělo je na grafické zobrazení, jednalo se o zobrazení v A módu tedy amplitude mode. Jednalo se o jednorozměrné zobrazení odražených signálů v těle. A mód umožnil měřit vzdálenosti mezi objekty. Ultrazvukové

vyšetření umožnilo bezpečně vyšetřovat určité partie těla bez nutnosti zátěže radiací (Seidl, 2012).

K vylepšení ultrazvuku došlo v roce 1967, pod dohledem Bertila Sundéna, švédského gynekologa. Systém pracoval s amplitudou z A modu a převáděl ji na stupně šedi podle intenzity signálu. Velmi pomocnou se tato metoda stala zejména při diagnostice plodu (Schott et al., 1955; Seidl, 2012).

9.1.2. Dnešní sonografie

Novodobá sonografie je založená na detekci ultrazvukových vln pomocí piezoelektrických krystalů uložených v různých sondách. V lékařství se dnes využívají frekvence v rozmezí od 2 – 18 MHz. Starší zobrazení v A módu nahradila specializovanější vyšetření, stále se však využívá v biometrii oka. Rozvoj digitálních technologií pomohl k přesnějšímu vykreslování zobrazených struktur. Novinkou je zobrazení obrazu v 2D okně. Umožňuje rychle vyšetřit dutinu břišní bez nutnosti radiační zátěže pacienta. Je to zejména výhodné v urgentních případech. Pokročilejší metodou je využití 3D metody v zobrazování plodu a v ortopedii. Zpracovaný obraz umožňuje provést bezpečnou kontrolu plodu v děloze v reálném čase. Neinvasivní metodou kontroly cévního řečiště, například v oblasti břišní dutiny, je Dopplerovská sonografie. Využívá pohybu buněk v těle pacienta a umožňuje vyšetřovat krevní tok pacienta. Nejmodernější přístroje dokáží zobrazit také elasticitu tkáně, metoda se nazývá elastografie. (Seidl, 2012).

10. Výpočetní tomografie (CT)

10.1.1. Raný vývoj

Allan Cormack byl nukleární fyzik, který pracoval v nemocnici Groote Snuur při kontrole lékařských radioizotopů. Zajímal se o izodózové tabulky a plánování na ozařovacích jednotkách. Dobové tabulky braly tělo jako homogenní objekt, což způsobovalo zbytečnou radiační zátěž pacienta. Cormack vylepšil tyto tabulky pomocí matematických výpočtů. V roce 1957 provedl experiment s experimentálním fantomem a od roku 1963 začal používat přístroj obsahující dva systémy, v jednom byla umístěna rentgenka a v druhém detektor. Výsledky publikoval o rok později bez větší odezvy. Úspěšným se stal teprve Godfrey Newbold Hounsfield. Ten přesvědčil vedení firmy EMI k poskytnutí financí. Díky výpočtům Allana Cormacka a dalších vědců, například Londýnského neurologa Dr. Jamese A. E. Ambrose, se

jím podařilo vyrobit v roce 1971 první funkční prototyp, pomocí kterého byla téhož roku vyšetřena první pacientka (Thomas a Banerjee, 2013).

První generace výpočetních tomografií používala systém jedné rentgenky a protilehlého detektoru. Elektromagnetické záření bylo ve tvaru tenkého válce a bylo směřováno kolmě na detektor. Po provedení snímku se detektor s rentgenkou posunul o pár stupňů a celý proces se opakoval (Seidl, 2012).

Počáteční studie byly zaměřeny na mozkovou část, a to kvůli komplikacím se zpracováním dat z břišní dutiny. Svou práci Cormackův team představil 20 dubna 1972 v článku *Computerized Transverse Axial Scanning Tomography*. Možnosti nové metody vyvolaly senzaci. Další výzkumná část dovolila zobrazit celou dutinu břišní včetně nádorů v těle. Výsledkem bylo také zlepšení plánování terapie u onkologických pacientů (Thomas a Banerjee, 2013).

První standardně vyšetřovanou částí těla byla hlava. Nativní zobrazení mozku je v dnešní době standardně prováděnou studií. Používá se při podezřeních na cévní mozkovou příhodu, krvácivé stavy nebo u rutinních kontrol na neurologii (Vomáčka, 2012).

Hlavním přínosem bylo nahrazení snímků provedených na konvenčních RTG přístrojích. Ty neposkytovaly vždy jasnou diagnózu u pacientů s podezřením na vážnou komplikaci. První CT bylo instalováno v Atkinson Moley's Hospital dne 1. října 1971. Jednalo se o model axiálního skeneru EMT CT 1010 firmy EMI. Doba skenování byla 4 minuty na jeden řez o tloušťce 1 mm. Stroj přepisoval údaje na magnetickou pásku, která musela být převezena do Hayes, kde firma EMI zpracovávala data. Koncept počítače spojeného přímo s CT nebyl v té době možný a ani to tak nebylo původně zamýšleno. Data byla rekonstruována po dobu 20 minut na počítači ICL 1905. Poté byla zpět převezena do nemocnice a předána lékařům. Snímky o velikosti 80x80 pixelů rekonstruoval software napsaný Stephenem Batesem. Většího rozlišení nebylo možné dosáhnout kvůli technickým limitům počítače. Velkou roli při výzkumu hrála také finanční podpora britského ministerstva. Godfrey Newbold Hounsfield spolu s Allanem McLeod Cormackem obdrželi Nobelovu cenu za medicínu a fyziologii (Thomas a Banerjee, 2013).

10.1.2. Vývoj CT skeneru

Výzkum nad výpočetní tomografií se od začátku potýkal s finanční a technickou náročností přístrojů. Odezvou na tyto problémy byly dvě konstrukční cesty. První cestou byla

konstrukce kruhového typu, kdy rentgenka rotovala kolem detektorů umístěných po celém kruhovém obvodu přístroje. Druhým konstrukčním řešením byl vějířovitý systém, ten pracoval s rotací rentgenky a současně i detektorů. Technická náročnost vějířovitého typu nakonec zvítězila nad finančně dražším kruhovým typem (Seidl, 2012).

Firma EMI postupně prodávala patenty společnosti General Electric a Siemens, které vyvinuly výkonnější modely. Nové přístroje výpočetní tomografie přinesly mnoho možností, ale také velkou finanční náročnost. Firma EMI se potýkala z vlastními problémy. Existovala velká konkurence ze strany ostatních firem. Došlo i k několika soudním procesům. Závažnější však bylo omezení výdajů nemocnic v USA za prezidenta Jimmyho Cartera. Amerika byla největším trhem pro skener EMI. Nemocnice byly nuceny splnit velmi přísné standardy, aby mohly obhájit výdaje. To způsobilo značný pokles zájmu o skenery EMI. Ve Spojeném království v 80. letech bylo provádění CT vyšetření z velké části omezeno pouze na neurologické a neurochirurgické účely. Díky veřejným sbírkám a podpoře Ministerstva zdravotnictví se CT dostávalo na úrazové oddělení v nemocnicích. Postupně se také zavádělo celotělové CT vyšetření, které ulehčilo práci onkologických pracovišť při plánování terapií. (Thomas a Banerjee, 2013).

Vývoj CT přístrojů řadíme do 5 generací. První generace obsahovala tenký svazek záření a jeden protilehlý detektor. Druhá generace obsahovala více detektorů pohybujících se spolu s rentgenkou. Velkým krokem k dnešním modelům se ukázala třetí generace, která spojila vlastnosti druhé generace z větším počtem detektorů ve více řadách za sebou, to umožnilo přejít ze snímání jednotlivých vrstev v kontinuálnímu snímání. Výpočetní tomografie 3. generace využila spirálního pohybu, kdy rentgenka rotovala v kruhu kolem pacienta a vyšetřovací stůl s pacientem se zasouval stejnou rychlostí dovnitř. Takto pomyslný spirální pohyb umožnil pořizovat vyšetřovací řezy v krátkém časovém okně (Seidl, 2012). Oproti prvním generacím trvá dnešní vyšetření pár minut a je také mnohem kvalitnější (Vomáčka, 2012).

10.1.3. Spirální CT

Spirální CT představuje významný pokrok v technologii CT skenování. Změnilo a rozšířilo klinické využití CT. První klinické případy a měření výkonnosti nové techniky představil Willi Kalender, Peter Vock a Wolfgang Seissler na 75. výročním setkání Radiologické společnosti Severní Ameriky v roce 1989. Podrobnějšího popisu se dočkala následující rok. V 90. letech se dostávala do popředí magnetická rezonance a otázka dalšího využívání CT zůstávala nejasná. Spirální CT technika v kombinaci s pokrokem ve výpočetní

technice umožnily téměř ihned zpracovat hrubá data a také je zrekonstruovat (Thomas a Banerjee, 2013).

Čas pro vyšetření pacienta se tedy výrazně zkrátil. Namísto pár řezů tělem se získalo velký objem dat s možností nahlížet ve více rovinách. Obrazy mohly být rekonstruovány s použitím 3D zobrazení. Nynější CT přístroje umožňují provádět virtuální kolonoskopie, komplexní dynamické studie. Zrychlení umožnilo provést celotělový sken při jednoduchém zadržení dechu. (Vomáčka, 2012).

Výrazný pokrok byl dosažen díky speciálně navrženým CT rentgenovým trubicím pro kontinuální vyšetření, což je zvláště cenné při vyšetřování pacientů s postižením cév a u akutních případů. CT skener vedl k moderní změně paradigmatu, kdy tradiční radiologické vyšetření bylo často invazivní. Moderním paradigmatem je neinvazivní diagnostika a minimální miniinvazivní léčba. Při angiografii nebo encefalografii bylo nutné hospitalizovat pacienta v nemocnici, byla nutná anestézie a následná kontrola pacientova stavu po vyšetření. CT umožnilo provést podrobné vyšetření s popisem výsledku ambulantně. CT také umožnilo diagnostikovat abnormality v lidském těle mnohem dříve, než se dostavily klinické příznaky a zvětšilo tak šanci na přežití pacienta díky včasné diagnóze a rychlé léčbě. Objevila se možnost využít CT k vedení radiologa v intervenčním výkonu, usnadnění biopsie nádorů, drenáže tekutinových ložisek a radiofrekvenčních ablací. Vystavení obyvatelstva záření zůstává problémem a moderní generace CT skenerů používají nižší dávku, také rychlost vyšetření se výrazně změnila v porovnání s prvními generacemi. Kombinuje se z dalšími diagnostickými metodami jako pozitronová emisní tomografie (PET-CT) nebo jednofotonová emisní tomografie (SPECT-CT). Nesporným přínosem je také dostupnost moderních CT v akutních případech, kdy o životě člověka rozhodují vteřiny (Thomas a Banerjee, 2013).

11. Magnetická rezonance

11.1.1. Teoretické základy

Magnetismus byl poprvé popsán Williamem Gilbertem v díle: *De Magnete* (1600). Zformuloval základní principy magnetizmu a položil tak základy pro budoucí vynález. Vývoj magnetické rezonance by však nebyl možný bez matematického principu Fourierovy transformace, za jehož objev se zasloužil Jean Baptiste Joseph Fourier (1822). Tyto objevy byly pouze pomocnými dílky, které v důsledku pomohly s výzkumem diagnostické metody. Dalším zásadním krokem k vynálezu magnetické rezonance byl článek o měření jaderného spinu

metodou molekulárních paprsků. Článek Isidora Isaaca Rabií, rakouského emigranta do USA, vysvětloval měření jednotlivých stavů rotace atomů a molekul. Díky němu bylo možné určit mechanické a magnetické pohyby jader. Rabií položil teoretický základ fungování magnetické rezonance. Za tuto práci obdržel v roce 1944 Nobelovu cenu za fyziku. V mezidobě, co profesor Rabií měřil magnetické vlastnosti jader, dva nezávisle na sobě pracující vědci Edward Purcell (1912-1997) a Felix Bloch (1905-1983) objevili nukleární magnetickou rezonanci (1946). Oba byli poctěni Nobelovou cenou za fyziku v roce 1952 (Thomas a Banerjee, 2013).

11.1.2. Funkce a stavba MRI

Přes položení základů teoretického fungování magnetické rezonance technologie doby neumožňovala stavbu funkčního zařízení. První prototypy se začaly objevovat na sklonu 70. let 20. století. Základem fungování bylo pochopení funkce jádra atomu, složeného z neutronu a kladně nabitého protonu. Protony, klíčové pro fungování magnetické rezonance, vytvářejí magnetické pole o jasně definovatelném momentu. Klíčovou roli hrají atomy s lichým počtem protonů, tedy například vodík a fosfor. Nejběžněji se vyskytující v lidském těle je atom vodíku. Dává nám také nejlépe detekovatelný signál, protože obsahuje pouze jeden proton v jádře. Magnetické pole kolem protonu se chová podobně jako klasický magnet v běžném prostředí. Protony atomových jader v běžném těle se navzájem ruší a není možné je tedy detekovat. Pohyby protonů v atomových jádrech jsou zcela náhodné, pokud je ale vystavíme silnému magnetickému poli dojde k jejich synchronizaci. K tomuto účelu se používá silný stacionární magnet o síle magnetického pole 1,5 Tesla. Dnešní přístroje používají i 3 Teslová pole s kratším vyšetřovacím časem. Vysláním radiofrekvenčního impulsu dojde k narušení precesního pohybu a tím k detekci signálu z rotujících jader vodíku (Seidl, 2012).

11.1.3. Vývoj konstrukce

Mezi další průkopníky patřil Paul Lauterbur, který v časopise Nature v 1973 publikoval článek *Image Founadiot by induced local interactions: Example Employing Nuklear Magnetic Resonance*. Lauterbur pokračoval dále v publikacích a v roce 2003 byl spolu s Peterem Mansfieldem odměněn Nobelovou cenou za fyziologii a medicínu. Následný vývoj MR směřoval k využití spektroskopie. V počátcích 70. let 20. století se jí začali zabírat George Radda a Rex Richards. Cílem výzkumu mělo být určení typu tkání a jejich charakteristika, která by pomohla v určení pacientovy diagnózy. Metoda pracovala s anatomickou stavbou tkání a jejich chemicko-metabolickými vlastnostmi. V roce 1971 výzkum ukázal, že MR je možné

použit k zobrazení maligní tkáně, zatím tehdy ještě na zvířecích vzorcích. V následujících letech se týmy lékařských fyziků snažily zkonstruovat přístroj použitelný pro lékařské účely. Jedním z prvních byl team Aberdeen ve Skotsku. Pořídili snímky za použití sekvence obnovy inverze a prvním pokusným objektem byla právě zabitá myš. V roce 1977 profesor Hutchinson navrhl vzduchový kordový odporový magnet o síle 0,04 Tesla. Přístroj byl postaven společností Oxford instrumets. Přístroj nosil název tělový NMR stroj. V roce 1979 pořídili celotělový sken, bohužel obrázky byly značně znehodnoceny pohybovými artefakty ze srdce. V roce 1977 pořídil tým z Nottinghamu snímek zápěstí. Další snímky hrudníku a břicha byly pořízeny Ianem Youngem a spolupracovníky s firmou EMI v Londýně. První komerční kryogenní magnet byl instalován v Manchesteru počátkem 80. let. První skenery MR byly umístěny v malé místnosti s měděnými stěnami, aby fungovaly jako ochranný štít a aby se zabránilo nežádoucím rušivým elementům. Pacienti byli snímkováni na dřevěné posteli, která se zasouvala do přístroje. Dnešní moderní MRI mají magnet stíněný uvnitř místnosti, která má radiofrekvenční stínění ve stěně místnosti. MRI se dále rozvíjela ve směru zdokonalování technik zobrazení a zvýšení intenzity indukce magnetického pole. Průkopníci z dalších zemí ve výzkumu pokračovali. Dennis Carr ze skupiny Hammersmith MRI a Wolfgang Schorner, berlínský vědec, publikovali první snímky s použitím intravenózní kontrastní látky. Použili Gadolinium Diethyltriaminipentacetát (DTPA) dimeglumin u člověka. NMR spektroskopie přinesla mnoho poznatků k studiu nad lidským tělem. Za významnou práci v tomto odvětví byli odměněni Nobelovou cenou švýcarští vědci Richard Ernst (1991) a Kurt Wüthrich (2002). Vývoj se zrychlil na začátku 21. století. Byly přidány otevřené skenery pro klaustrofobické pacienty a zrychluje se i nadále doba vyšetření. MRI se stále více používá při intervenčních zákrocích. (Thomas a Banerjee, 2013).

11.1.4. Využití magnetické rezonance

Efektivní využití našla magnetická rezonance zejména v diagnostice měkkých tkání, například mozku a kloubů. Její hlavní výhodou oproti ostatním diagnostickým metodám je nepřítomnost záření. Tato výhoda se uplatňuje především u dětí, kde se snažíme docílit co nejmenší radiační zátěže. Magnetická rezonance našla největší uplatnění v neuroradiologii a ve vyšetřování muskuloskeletálního systému. V současnosti se také používá k funkčnímu vyšetření srdce, jater a žlučových cest, v urografii (diagnostika močových cest) a v MR angiografii (Vomáčka et al, 2012).

12. Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřovala na historický vývoj radiodiagnostických metod, vývoj profese radiologický asistent a pokrok v radiační ochraně. Otázky práce a stanovené cíle práce byly splněny. Práce ukázala cestu rozvoje od objevu Roentgenových paprsků a jejich prvních využití v medicíně až po novodobé diagnostické zobrazování. Také poukazuje na osudy významných osobností, které se zasloužili o rozvoj radiodiagnostiky. Nastínila přínos radiodiagnostiky ve vojenských operacích, představila vývoj radiační ochrany a ukázala negativní vliv záření na lidský organizmus. Pro budoucnost je tento obor velmi důležitý a úzce spolupracuje se všemi klinickými obory napříč celou medicínou.

13. Seznam bibliografických zdrojů:

BARTONÍČEK, Jan a Ondřej NAŇKA. Alban Köhler - historie jedné slzy. *Ortopedie*. 2017, 11(1), 40-42. ISSN 1802-1727.

Heřman, Miroslav. *Základy radiologie*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2014. ISBN 978-80-244-2901-4.

SCHOTT, Heinz, NIKLÍČEK, Ladislav, ed. *Kronika medicíny*. Praha: Fortuna Print, 1994. ISBN -80-85873-16-8.

SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.

THOMAS, Adrian M.K. a Arpan K. BANERJEE. *The History of Radiology* [online]. 2013. Great Clarendon Street, Oxford, United Kingdom: Oxford University press, 2013 [cit. 2023-04-21]. ISBN 978-0-19-963997-7.

VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA, a Jiří KOZÁK. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3126-0.

14. Seznam elektronických zdrojů

Bell D, Banerjee D, Charles Thurstan Holland. (2018) Reference article, Radiopaedia.org (Accessed on 29 Mar 2023) <https://doi.org/10.53347/rID-59597>

Kahle, Erhart, "Levy-Dorn, Max" in: *Neue Deutsche Biographie* 14 (1985), S. 406-407 [Online-Version]; URL: <https://www.deutsche-biographie.de/pnd116969059.html#ndbcontent>

MAŇÁK, Pavel. MUDr. Rudolf Bacher. *Židovská obec Olomouc* [online]. 21 DUBNA 2010 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://kehila-olomouc.cz/rs/3562/mudr-rudolf-bacher/>

The X-ray Martyr: Radiographer at London Hospital [online]. Australia Victoria Melbourne: National Library of Australia, 1910 [cit. 2023-03-29]. ISSN 1833-9719. Dostupné z: <https://trove.nla.gov.au/newspaper/article/10461181>

MOULD, Richard F. Radiologia wojskowa przed I wojną światową i na jej frontach, lata 1896–1918. *Nowotwory. Journal of Oncology* [online]. 2015, **65**(1), 23-34 [cit. 2023-04-12]. ISSN 2300-2115. Dostupné z: <http://czasopisma.viamedica.pl/nwt/article/view/41335>
doi:10.5603/NJO.2015.0011

Seznam zkratek

| | |
|-------------------|--|
| A | Ampér, jednotka elektrického proudu |
| A-D | Analogově-digitální převodník, součástka určená k převodu analogového signálu na digitální |
| AgBr | Bromid stříbrný |
| CaWO ₄ | (Wolframát vápenatý) nebo také Scheelit |
| CsI | Jodid cesný |
| CT | Výpočetní tomografie |
| Gy | Gray, jednotka absorbované dávky záření |
| Hz | Hertz, jednotka frekvence |
| M | metr, jednotka délky |
| MR, MRI | Magnetická rezonance |
| R | Roentgen, dnes nepoužívaná jednotka expozice ionizujícího záření (1R = 0,01Gy) |
| Rem | Rem zastaralá jednotka dávkového ekvivalentu, dnes nahrazena jednotkou Sv |
| RTG | rentgenové |
| Sv | Sievert je jednotka ekvivalentní dávky nebo také jednotka dávkového ekvivalentu. |

TFT Tranzistorové ploché detektory z amorfního křemíku a amorfního selenu, používané pro detekci rentgenového záření.

V Volt, jednotka elektrického napětí

ZnS Sulfid zinečnatý (Sulfid)

2 D Dvourozměrný obraz, který se vyznačuje pouze délkou a šířkou.

3 D Trojrozměrný obraz vyznačující se délkou, šířkou a objemem.