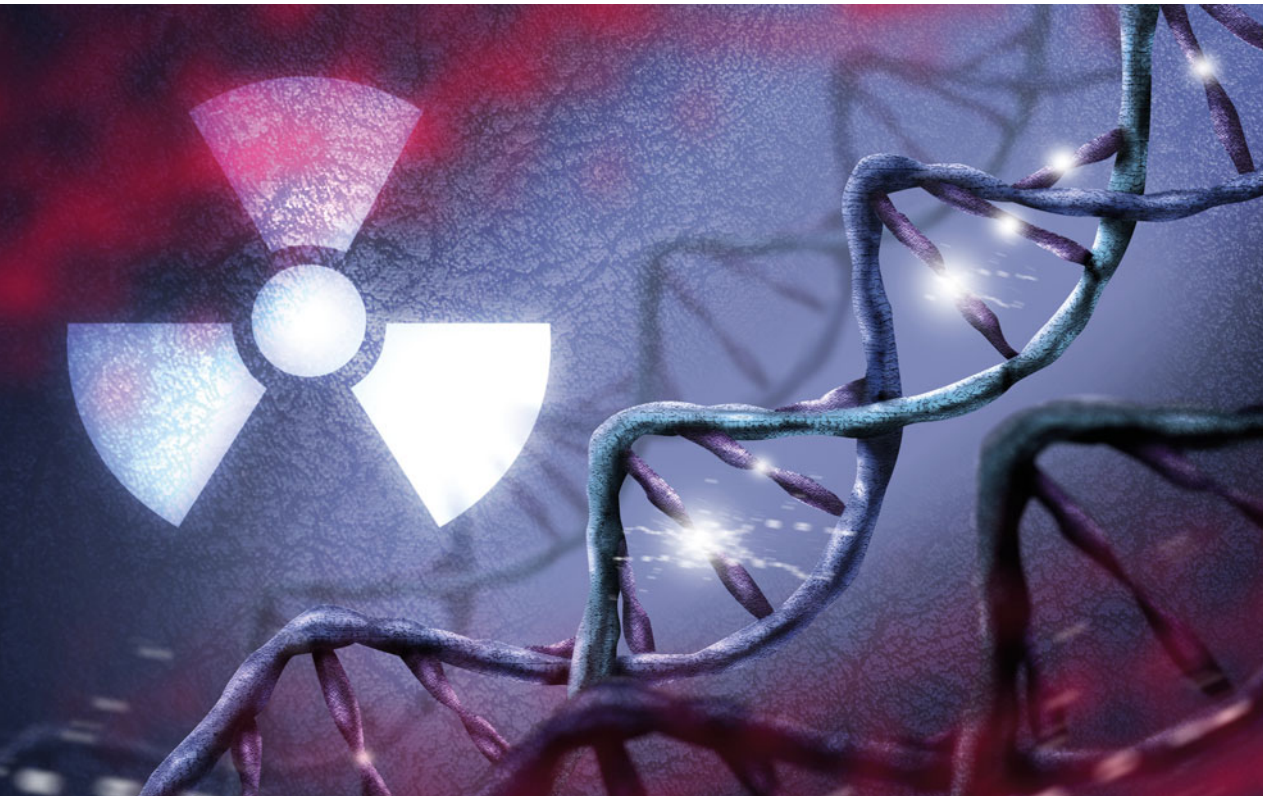


Renata Havránková – editor

Klinická radiobiologie





**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ
ČVUT V PRAZE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Posláním Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT je vychovávat interdisciplinárně vzdělané odborníky, kteří budou schopni aplikovat teoretické znalosti a praktické dovednosti ve zdravotnické praxi a výzkumu. Fakulta navazuje na nejlepší tradice špičkové technické univerzity v konstrukci a vývoji zdravotnických technologií a připravuje vedle biomedicínských inženýrů i zdravotnické specialisty a pracovníky bezpečnostních oborů. Naplňuje tak historické poslání ČVUT pěstovat vědecké obory a vědecký přístup ve výuce v jejich univerzalitě, tj. všeobecné znalosti. Jedním ze tří směrů výuky je proto i výchova fyzioterapeutů, radiologických asistentů, zdravotnických záchranářů, zdravotních laborantů, optiků a optometristů. Studium jednotlivých směrů je podle zaměření nabízeno v bakalářském, magisterském i doktorském stupni.



Kontakt:
Fakulta biomedicínského
inženýrství ČVUT
nám. Sítňá 3105
272 01 Kladno

www.fbmi.cvut.cz

Renata Havránková – editor

Klinická radiobiologie

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

Mgr. Renata Havránková, Ph.D. – editorka

KLINICKÁ RADIOBIOLOGIE

Autorský kolektiv:

Ing. Julia Čuprová, Ph.D., RNDr. Martin Falk, Ph.D., RNDr. Iva Falková, Ph.D., Mgr. Zuzana Freitinger Skalická, Ph.D., prof. Aleksander Nikolajevič Grebenyuk, DrSc., Mgr. Jiří Havránek, Mgr. Renata Havránková, Ph.D., plk. gšt. prof. MUDr. Jan M. Horáček, Ph.D., prof. MUDr. Ladislav Jebavý, CSc., prof. RNDr. Emil Kormúth, CSc., prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr. h. c., doc. MUDr. Pavel Žák, Ph.D.

Recenzenti:

MUDr. Radka Lohynská, Ph.D.
prof. MUDr. Jan Österreicher, Ph.D.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2020
Cover Photo © depositphotos.com, 2020

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7
jako svou 7494. publikaci
Obrázky dodali autoři.

Odpovědná redaktorka Mgr. Helena Vorlová

Sazba, zlom a obrázky 2.3, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8, 2.14, 3.1, 3.2 a 3.5 podle podkladů autorů
překreslil Ing. Vladimír Meško

Počet stran 184

1. vydání, Praha 2020

Vytiskla Tiskárna v Ráji s.r.o., Pardubice

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-271-1350-7 (ePub)

ISBN 978-80-271-1349-1 (pdf)

ISBN 978-80-247-4098-0 (print)

Autorský kolektiv



Ing. Julia ČUPROVÁ, Ph.D.

odborná asistentka katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze



RNDr. Martin FALK, Ph.D.

vedoucí vědecký pracovník a vedoucí Oddělení radiobiologie a buněčné biologie na Biofyzikálním ústavu Akademie věd České republiky v Brně. Vyučuje na Masarykově univerzitě radiační biofyziku.



RNDr. Iva FALKOVÁ, Ph.D.

vědecká pracovnice na Biofyzikálním ústavu Akademie věd České republiky v Brně, kde se v Oddělení radiobiologie a buněčné biologie věnuje výzkumu zejména nádorových onemocnění



Mgr. Zuzana FREITINGER SKALICKÁ, Ph.D.

ředitelka Ústavu radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích



Prof. Aleksander Nikolajevič GREBENYUK, DrSc.

profesor katedry medicíny katastrof I. Sankt-Petersburgské lékařské univerzity akademika I. P. Pavlova a viceprezident Radiobiologické společnosti Ruské akademie věd a člen vědecké rady pro radiobiologii Ruské akademie věd



Mgr. Jiří HAVRÁNEK

odborný asistent Ústavu radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a inspektor Státního úřadu pro jadernou bezpečnost



Mgr. Renata HAVRÁNKOVÁ, Ph.D.

odborná asistentka katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze a Ústavu radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích



Plk. gšt. prof. MUDr. Jan M. HORÁČEK, Ph.D.

vedoucí katedry vojenského vnitřního lékařství a vojenské hygieny Fakulty vojenského zdravotnictví Univerzity obrany v Hradci Králové a IV. interní hematologická klinika Fakultní nemocnice Hradec Králové



Prof. MUDr. Ladislav JEBAVÝ, CSc.

katedra vojenského vnitřního lékařství a vojenské hygieny Fakulty vojenského zdravotnictví Univerzity obrany v Hradci Králové a vedoucí Střediska speciální zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách IV. interní hematologické kliniky Fakultní nemocnice Hradec Králové



Prof. RNDr. Emil KORMÚTH, CSc.

profesor genetiky na Univerzitě KwaZulu-Natal v Durbanu v Jihoafrické republice, na které prošel řadou akademických pozic (vedoucí vědecký pracovník, vedoucí katedry, děkan fakulty). Odborně se zaměřuje na možnosti molekulárních diagnostických metod na úrovni RNA a DNA. Je hostujícím profesorem Českého vysokého učení technického v Praze. Přednáší na Fakultě biomedicínského inženýrství. Do roku 1990 byl odborným asistentem Katedry biologie a lékařské genetiky FVL UK v Praze.



Prof. MUDr. Leoš NAVRÁTIL, CSc., MBA, dr. h. c.

vedoucí katedry zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva Fakulty biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického v Praze



Doc. MUDr. Pavel ŽÁK, Ph.D.

přednosta IV. interní hematologické kliniky Fakultní nemocnice Hradec Králové a Lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Hradci Králové

Obsah

Autorský kolektiv	5
Předmluva	10
Předmluva editorky	11
Seznam použitých zkratk	12
1 Pár slov k historii československé radiobiologie (Leoš Navrátil)	17
2 Buňka – základní jednotka života (Martin Falk, Iva Falková)	32
2.1 Vznik buněk	32
2.2 Prokaryota a eukaryota	33
2.3 Cesta k objevu buňky	35
2.4 Anatomie buňky – cytoplazma a cytoplazmatické organely	37
2.4.1 Buněčná stěna	37
2.4.2 Buněčné membrány	37
2.4.3 Cytoplazma	40
2.4.4 Ribozomy	40
2.4.5 Mitochondrie	42
2.4.6 Golgiho aparát	43
2.4.7 Lyzozomy	44
2.4.8 Peroxisomy	44
2.4.9 Proteazomy	45
2.4.10 Buněčné inkluze	45
2.4.11 Cytoskelet	45
2.5 Anatomie buňky – buněčné jádro a genetická informace	46
2.5.1 Jaderná membrána (karyolema)	47
2.5.2 Jadérko	48
2.5.3 Jaderná DNA a základní jaderné procesy – replikace a transkripce	48
2.5.4 Chromozomy a organizace chromatinu	53
2.5.5 Fluorescenční <i>in situ</i> hybridizace	58
2.6 Buněčný cyklus a dělení buněk	60
2.6.1 Buněčný cyklus	60
2.6.2 Dělení buněk	62
2.7 Buněčná smrt	64
3 Účinky ionizujícího záření na subcelulární a celulární úrovni, mechanismy reparace DNA (Martin Falk, Iva Falková)	67
3.1 Interakce ionizujícího záření s biologickými systémy	67
3.1.1 Přímý a nepřímý účinek ionizujícího záření	68
3.2 Radiační poškození biomolekul	70
3.2.1 Poškození proteinů	70
3.2.2 Poškození lipidů	71
3.2.3 Poškození RNA	72
3.2.4 Poškození DNA	72
3.2.5 Poškození DNA na molekulární úrovni	73
3.3 Poškození subcelulárních systémů	75
3.3.1 Poškození chromozomů	75
3.3.2 Poškození buněčných membrán a organel	82

3.4	Odpověď na ozáření na úrovni buněk, tkání a organismů	83
3.4.1	Radiační mutagenese a karcinogenese, kritické cíle DNA	85
3.4.2	Genetické poškození buněk (stochastické účinky)	87
3.4.3	Smrt buněk (deterministické účinky)	90
3.5	Faktory ovlivňující radiační poškození buněk a buněčnou odpověď na ozáření	92
3.5.1	Vliv typu ionizujícího záření na poškození DNA	92
3.5.2	Vliv fáze buněčného cyklu na poškození DNA	94
3.5.3	Vliv struktury chromatinu na poškození DNA	95
3.6	Opravy poškozené DNA	96
3.6.1	Opravy bází a nesprávně spárovaných nukleotidů	97
3.6.2	Opravy zlomů DNA	98
4	Souhrnná charakteristika klinických změn po ozáření (<i>Aleksander Nikolajevič Grebenyuk, Julia Čuprová, Emil Kormúth</i>)	102
4.1	Akutní nemoc z ozáření	102
4.1.1	Dřeňová forma akutní nemoci z ozáření	103
4.1.2	Střevní forma akutní nemoci z ozáření	106
4.1.3	Toxemická forma akutní nemoci z ozáření	108
4.1.4	Cerebrální forma akutní nemoci z ozáření	108
4.2	Lokální radiační poškození	109
4.2.1	Radiační poškození kůže	109
4.2.2	Radiační poškození sliznic	110
4.2.3	Obecné principy terapie pacientů s radiačním poškozením	111
4.3	Kombinované radiační poškození	111
4.4	Chronická nemoc z ozáření	112
4.5	Pozdní důsledky ozáření	112
5	Kontaminace radioaktivními látkami (<i>Renata Havránková</i>)	114
5.1	Zevní kontaminace	114
5.2	Vnitřní kontaminace	115
5.2.1	Cesty vstupu radioaktivních látek do organismu	115
5.2.2	Distribuce radionuklidů v organismu	116
5.2.3	Metabolismus vybraných radionuklidů	117
5.3	Dekontaminace	118
6	Radioprotektivní látky (<i>Renata Havránková, Leoš Navrátil</i>)	120
6.1	Radiosenzibilizátory	120
6.2	Radioprotektivní látky	120
6.2.1	Radioprotektivní látky s krátkodobým účinkem	121
6.2.2	Radioprotektivní látky s dlouhodobým účinkem	124
6.3	Biologická radioprotekce	125
7	Přínos radiobiologie pro radioterapii (<i>Leoš Navrátil, Zuzana Freitinger Skalická</i>)	127
7.1	Radiobiologické modely	127
7.2	Významné radiobiologické pojmy využívané v radioterapii	128
7.3	Vedlejší účinky radioterapie	130
7.4	Frakcionace	131
7.5	Kombinovaná radiochemoterapie	133
7.6	Brachyterapie	134
7.6.1	Afterloading	134
7.6.2	Analgetická brachyterapie	135

8 Zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách (<i>Jan M. Horáček, Ladislav Jebavý, Pavel Žák</i>)	137
8.1 Středisko speciální zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách	138
8.1.1 Působnost SSZP	138
8.1.2 Náplň a organizace SSZP	138
8.1.3 Pracovní metody příjmu a třídění	139
8.1.4 Vyšetřovací klinické metody	140
8.1.5 Základní období v průběhu hospitalizace	141
8.1.6 Základní principy léčby	141
8.2 Transplantace progenitorových krvetvorných buněk	142
8.2.1 Druhy transplantací	142
8.2.2 Indikace k transplantaci	143
8.2.3 Postup při transplantaci	143
8.2.4 Komplikace transplantace	145
8.3 Podpůrná terapie v hematologii	146
8.3.1 Význam podpůrné terapie	146
8.3.2 Profylaxe a terapie infekčních komplikací	146
8.3.3 Substituční terapie transfuzními přípravky a krevními deriváty	148
8.3.4 Nutriční zajištění nemocných a řešení metabolických komplikací	148
8.3.5 Řešení psychologických problémů	148
8.3.6 Profylaxe a terapie nevolnosti a zvracení	149
8.3.7 Terapie bolesti	149
9 Radiační nehody a havárie (<i>Jiří Havránek, Renata Havránková</i>)	151
9.1 Havárie na jaderných zařízeních	152
9.2 Nehody se zdroji ionizujícího záření	157
9.2.1 Nehody na průmyslových pracovištích	157
9.2.2 Nehody ve zdravotnických zařízeních	158
10 Úkoly a činnost integrovaného záchranného systému při mimořádné události spojené s únikem radioaktivních látek (<i>Leoš Navrátil, Renata Havránková</i>)	161
10.1 Úkoly a činnosti sil a prostředků jednotek požární ochrany	161
10.2 Úkoly a činnosti sil a prostředků Policie České republiky	167
10.3 Úkoly a činnost zdravotnických složek	169
10.3.1 Úkoly a činnost zdravotnické záchranné služby kraje včetně letecké záchranné služby	169
10.3.2 Úkoly a činnosti poskytovatelů akutní lůžkové péče	170
10.3.3 Úkoly soudních lékařů	172
10.4 Úkoly a činnost sil a prostředků Státního úřadu pro jadernou bezpečnost	173
10.5 Úkoly a činnost sil a prostředků Armády České republiky	174
10.6 Úkoly a činnost sil a prostředků Celní správy ČR	175
et attexam	176
Rejstřík	177
Souhrn/Summary	184

Předmluva

Základní metody léčby zhoubných nádorů představují chirurgie, radioterapie, systémová terapie a podpůrná terapie. Chirurgické zákroky a radioterapie patří mezi lokální metody léčby malignit. Léčba ionizujícím zářením se praktikuje od začátku 20. století a zejména v jeho prvních 20–30 letech je vývoj radioterapie velmi úzce spojen s radiobiologií a výzkumem základních technik radioterapie a její frakcionace. Na základě radiobiologických výzkumů a zkušeností v praxi byla stanovena základní schémata frakcionací a matematických modelů k určení léčebných účinků a reakcí zdravých tkání a orgánů. Celý vývoj radioterapie je spojen s poznatky radiobiologie, jednak s výzkumem na úrovni buněčných kultur a jednak na využití radiobiologických modelů v klinické praxi léčby ionizujícím zářením.

Poznatky radiobiologie jsou pro další vývoj léčby zářením významné. S rychlým vývojem přístrojového vybavení radioterapeutických pracovišť se více uplatňují už dříve známé poznatky radiobiologie, například využití vysokých jednotlivých dávek záření v případě stereotaktické radioterapie a radiochirurgie. Bez výzkumů v radiobiologii si nelze představit teoretické a praktické využití současné léčby zářením s chemoterapií či cílenými biologickými preparáty. Tento směr výzkumu patří mezi priority společného výzkumu. K tomu lze přiřadit poznatky v oblasti využití částicové radioterapie (protonová terapie, terapie uhlíkovými ionty apod.), velkoobjemové radioterapie nebo v nanotechnologii.

Osobně jsem rád, že v posledních letech Společnost radiační onkologie, biologie a fyziky a Společnost pro radiobiologii a krizové plánování, zabývající se radiobiologií a radioterapií, k sobě nacházejí opět úzký vztah a spolupracují na některých společných problémech. Předkládaná publikace je toho důkazem a rozhodně se stane i studijním materiálem pro lékaře připravující se ke specializované odbornosti z radiační onkologie.

červen 2019

prof. MUDr. Pavel Šlampa, CSc.
místopředseda Společnosti radiační
onkologie, biologie a fyziky ČLS JEP

Předmluva editorky

Československá radiobiologie vždy patřila mezi obory, na které může být naše věda hrdá. Její tradice se odvíjí od vědce světového formátu, akademika Františka Běhounka a jeho žáka prof. MUDr. et RNDr. Ferdinanda Herčíka, DrSc., zakladatele Biofyzikálního ústavu Československé akademie věd (její nástupkyní je Akademie věd České republiky). Největší rozmach zaznamenala v padesátých až osmdesátých letech 20. století, kdy byla klíčovým oborem pro řadu výzkumných, univerzitních i léčebných center, doslova od Příbrami po Košice.

Výsledky získané na těchto pracovištích byly cenné nejen pro vojenský výzkum, který tehdy hrál prioritní úlohu, ale rovněž pro obory radiační hygiena, farmakologie, ekologie a zejména pro řadu lékařských oborů, jako jsou radioterapie, nukleární medicína, rentgenologie, hematologie, transplantologie a další. Určitě nebylo náhodné, že jeden ze zakladatelů nukleární medicíny prof. MUDr. Zdeněk Dienstbier, DrSc., dr. h. c. byl i významným, světově uznávaným radiobiologem, stejně jako řada dalších. Výsledky jejich práce našly uznání daleko za hranicemi naší vlasti.

Od posledního vydání rukopisu věnovaného klinické radiobiologii uplynulo více než 15 let. Je to příliš dlouhá doba s ohledem na rozvoj nových laboratorních a fyzikálních metod, které byly v této době rozvinuty a které znamenají významný přínos i pro nové radiobiologické poznatky. Ty pak využívá celá řada oborů, které jsem zmínila výše.

Chtěla bych proto poděkovat jak všem členům autorského kolektivu, tak i oponentům. Jejich kritické pohledy pomohly k výraznému zkvalitnění a aktualizaci textu učebnice. A bylo by chybou neocenit pomoc všech pracovníků zdravotnické redakce nakladatelství GRADA Publishing.

září 2019

Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

Seznam použitých zkratek

A	adenin
AČR	Armáda České republiky
AET	aminoethylizotiuronium
ANO	akutní nemoc z ozáření
APL	akutní promyelocytární leukemie
ATP	adenozintrifosfát
BER	bázová excizní reparace
C	cytosin
CDK	cyklin-dependentní kinázy
CGH	comparative genome hybridization
CMV	cytomegalovirus
CNS	centrální nervový systém
COMBO-FISH	Combinatorial Oligo FISH
CT	computed tomography, výpočetní tomografie
ctDNA	circulating tumor DNA, cirkulující nádorová DNA
ČLS JEP	Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně
ČR	Česká republika
ČSAV	Československá akademie věd
ČSR	Česká socialistická republika
ČVUT	České vysoké učení technické
3D-CRT	three dimensional conformal radiation therapy, trojrozměrná konformní radioterapie
DDR	DNA damage response
DMSO	dimethylsulfoxid
DNA	deoxyribonukleová kyselina
DRF	dose reduction factor, redukční faktor dávky
DSB	double strand break, dvouřetězcový zlom
DTPA	kyselina dietyltriampentaoctová
DVI	Disaster Victims Identification (tým pro identifikaci obětí hromadných neštěstí)
ED	účinná dávka
EDTA	kyselina etylendiaminotetraoctová
FISH	fluorescenční <i>in situ</i> hybridizace
FN HK	Fakultní nemocnice Hradec Králové
FVL UK	Fakulta všeobecného lékařství Univerzity Karlovy
G	guanin
GŘC ČR	Generální ředitelství Celní správy ČR
Gy	gray
GvHD	graft versus host disease, reakce štěpu proti hostiteli
HCL	kyselina chlorovodíková
HDR	high dose rate, vysoký dávkový příkon
HLA	human leucocyte antigen
HR	homologní rekombinace
HSV	herpes simplex virus
HX	hypoxantin

HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
CHART	contionous hyperfractionated accelerated radiotherapy, kontinuální hyperfrakcionovaná akcelerace
CHARTWEL	continuous hyperfractionated accelerated radiotherapy weekend less
CHNO	chronická nemoc z ozáření
IAEA	International Atomic Energy Agency, Mezinárodní agentura pro atomovou energii
IDL	insertion-deletion loops
IGRT	image guided radiotherapy, radioterapie řízená obrazem
IL	interleukin
IMRT	intensity modulated radiotherapy, radioterapie s modulovanou intenzitou svazku
INES	The International Nuclear Event Scale, Mezinárodní stupnice jaderných událostí
IOS	integrované operační středisko
IVIG	intravenózní imunoglobulin
IZS	integrovaný záchranný systém
JIP	jednotka intenzivní péče
JPO	jednotky požární ochrany
KÚBNM	katedra a ústav biofyziky a nukleární medicíny
LD	letální dávka
LDR	low dose rate, nízký dávkový příkon
LET	linear energy transfer, lineární přenos energie
LF UK	Lékařská fakulta Univerzity Karlovy
LNT model	linear non-treshold, lineární bezprahový model
LZS	letecká záchranná služba
mBand (M-Band)	mnohobarevné pruhování chromozomů
mDNA	mediátorová DNA
MDR	medium dose rate, střední dávkový příkon
mFISH	mnohobarevná fluorescenční <i>in situ</i> hybridizace
MMEJ	microhomology-mediated end-joining, mikrohomologií zprostředkované spojování konců
MMR	mismatch repair, oprava chybného párování bází
MRI	magnetic resonance imaging, magnetická rezonance
mRNA	mediátorová RNA
mtDNA	mitochondriální DNA
MU	mimořádná událost
MV-GŘ HZS ČR	Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky
NATO	The North Atlantic Treaty Organization, Severoatlantická aliance
NBS1	Nijmegen breakage syndrom 1
NCOZ SKPV	Národní centrála proti organizovanému zločinu Služby kriminální policie a vyšetřování
NER	nukleotidová excizní reparace
NES	jaderný exportní signál

NHEJ	non-homologous end-joining, nehomologní spojování konců
NLP	nelékařský pracovník
NLS	jaderný lokalizační signál
NOR	organizátory jádérka
NP	nadzemní podlaží
NSD	nominální standardní dávka
NTCP	normal tissue complication propability
OC GŘC	Operační centrum Generálního ředitelství cel
OER	oxygen enhancement ratio, kyslíkový efekt
OHIP	oddělení hematologické intenzivní péče
OPIS	operační a informační středisko
OSN	Organizace spojených národů
OS OO PP ČR	Operační středisko operačního odboru Policejního prezidia ČR
PCC	předčasná chromozomová kondenzace
PCR	polymerase chain reaction, polymerázová řetězová reakce
PČR	Policie České republiky
pDNA	plastidová DNA
PDR	pulsed dose rate, pulsní dávkový příkon
PET	pozitronová emisní tomografie
PKB	progenitorové krvetvorné buňky
PNA	peptidová nukleová kyselina
31. prchbo	31. pluk radiační, chemické a biologické ochrany
RES	retikuloendoteliální soustava
RNA	ribonukleová kyselina
ROS	kyslíkové radikály
rRNA	ribosomální RNA
RT	radioterapie
S	Svedbergova sedimentační jednotka
SH	sulfhydrylová skupina
SIB	simultánní integrovaný boost
SKY	spektrální karyotypování
SMLM	single molecule localization microscopy
SOC MO ČR	Společné operační centrum Ministerstva obrany České republiky
SRP	signal recognition particle
SSA	single strand annealing, jednořetězcová hybridizace
SSB	single strand break, jednořetězcový zlom
SSZP	Středisko speciální zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách
STED	stimulated emission depletion microscopy
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚJCHBO	Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
Sv	sievert
T	thymin
TCP	tumor cure/control propability

TDF	time, dose, fractionation
TNF	tumor necrosis factor
TNT	trinitrotoluen
TR	terapeutický poměr
tRNA	transferová RNA
U	uracil
USA	Spojené státy americké
UZ	ultrazvuk
VAS	vizuální analogová škála
VLA JEP	Vojenská lékařská akademie Jana Evangelisty Purkyně
VLVDÚ JEP	Vojenský lékařský výzkumný a doškolovací ústav Jana Evangelisty Purkyně
VMAT	volumetric arc therapy, radioterapie s objemově modulovanou toxicitou
VOD	venookluzivní nemoc
VZV	varicella zoster virus
X	xantin
ZNGŠ	zástupce náčelníka Generálního štábu
ZOS	zdravotnické operační středisko
ZZS	zdravotnická záchranná služba

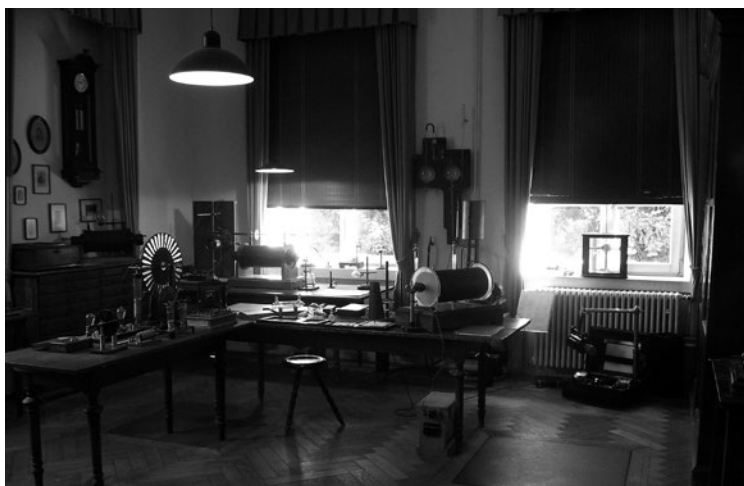
1 Pár slov k historii československé radiobiologie

I když je název kapitoly věnován především historii československé radiobiologie, nelze úvodem nevzpomenout osmi velkých osobností, které zásadním způsobem ovlivnily rozvoj radiologie.

Prvním z uvedených velikánů byl **Wilhelm Conrad Röntgen** (1845–1923) (obr. 1.1), který v noci z 8. na 9. listopadu 1895 pozoroval ve své univerzitní laboratoři (obr. 1.2) ve Würzburgu neznámé paprsky, které označil jako paprsky X.



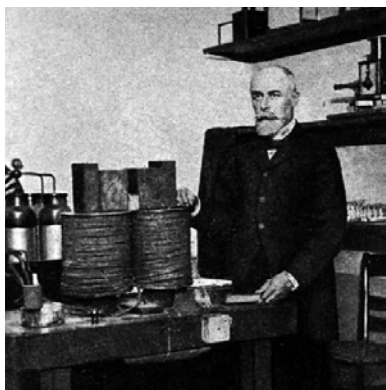
Obr. 1.1 *Wilhelm Conrad Röntgen*
(https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Wilhelm_Conrad_Röntgen)



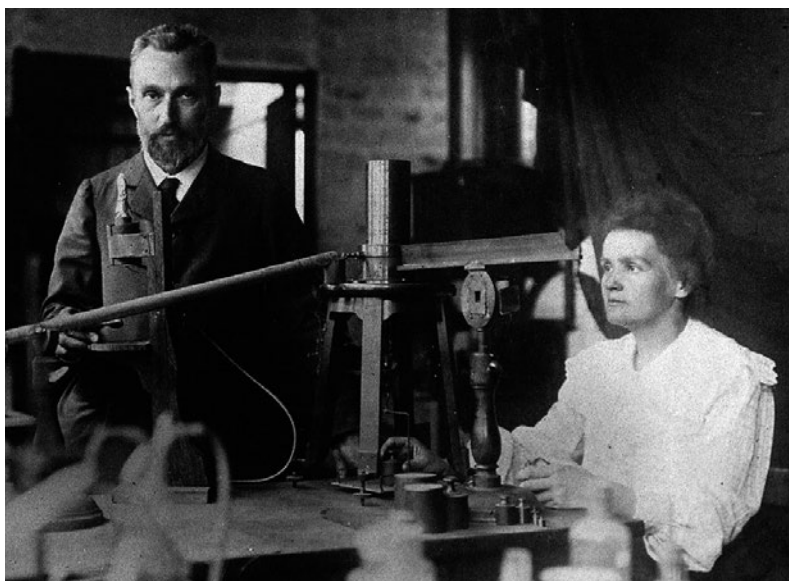
Obr. 1.2 *Univerzitní laboratoř Wilhelma Conrada Röntgena (archiv autora)*

Dalším významným článkem byl Francouz **Antoine Henri Becquerel** (1852–1908), profesor pařížské Polytechnické fakulty (obr. 1.3), který v roce 1896 při zkoumání fluorescence uranových solí detekoval přirozenou radioaktivitu.

I následující jména jsou spojena s metropolí Francie. Jsou jimi manželé **Curie, Marie – rozená Skłodovská** (1867–1936) a **Pierre** (1859–1906) (obr. 1.4). Jako první popsali techniku izolace radioaktivních izotopů a dva nové prvky – radium a polonium. Pierre Curie byl žákem Henriho Becquerela a svou vědeckou kariéru začínala



Obr. 1.3 *Antoine Henri Becquerel*
(<http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/vedec/1055/becquerel>)



Obr. 1.4 *Manželé Pierre a Marie Curie*
(https://cs.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie-Sklodowska)

v jeho laboratoři i Marie. Ta po předčasné smrti manžela pokračovala v započaté vědecké práci.

Mezi její významné zásluhy patří mimo jiné založení pařížského Institutu radia, ve kterém, po jejím úmrtí, pokračovali v práci její prvorozená dcera **Irène Joliot-Curie** (1897–1956) společně se svým manželem **Frédéricem Joliot-Curiem** (1900–1958). Institut se stal jednou ze čtyř světových laboratoří zkoumajících radioaktivitu – společně s Cavendishovou laboratoří při Cambridgeské univerzitě, Institutem pro výzkum radia ve Vídni a Institutem chemie císaře Wiléma v Berlíně. V letech 1920–1922 v Institutu radia pracoval také významný československý fyzik, akademik František Běhounek, kterému budou věnovány následující řádky.

V prvním roce I. světové války (1914–1918) založila Marie Curie francouzské vojenské radiologické centrum, včetně jeho mobilních jednotek, které výrazným způso-



Obr. 1.5 *Jean Alban Bergonié*
(https://www.bergonie.fr/histoire/histoire-bergonie_pr-jean-alban-bergonie/)



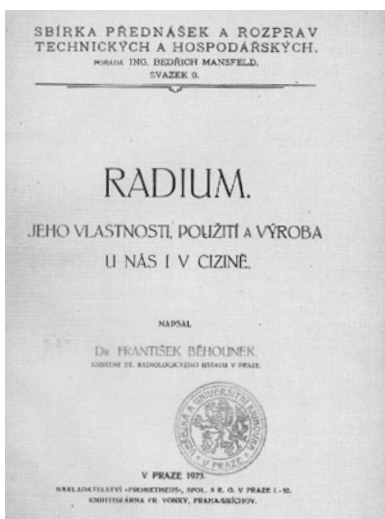
Obr. 1.6 *Louis Mathieu Frédéric Adrien Tribondeau*
(http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_tribondeau_louis.htm)

bem pomohlo vojenským lékařům v diagnostice válečných zranění. Velitelem jedné z těchto jednotek byl **Jean Alban Bergonié** (1857–1925) (obr. 1.5), náčelník lékařských radiografických zařízení 18. divize francouzské armády. Odborná veřejnost jej považovala za mimořádnou osobnost, brilantní a vizionářskou ve svých názorech. Ve 26 letech byl jmenován profesorem lékařské fyziky a od roku 1896 se věnoval hlubšímu poznání rentgenového záření.

Později svůj odborný zájem rozšířil na ochranu před ionizujícím zářením. V roce 1902 se setkal v Bordeaux s **Louis Mathieu Frédéric Adrien Tribondeau** (1872–1918) (obr. 1.6), který byl francouzským námořním lékařem. I on měl obdivuhodně široký odborný záběr, od biochemie přes bakteriologii po radiobiologii a dermatologii. Spolupráce obou těchto vědců vyústila v roce 1906 ke zjištění, že radiosenzitivita tkáně

je přímo úměrná její reprodukční aktivitě a nepřímo úměrná stupni diferenciaci buněk. Tedy, že nejcitlivější k ionizujícímu záření jsou rychle se dělící nebo málo diferencované buňky, které najdeme v pohlavní nebo v lymfatické tkáni či v kostní dřeni. Toto pravidlo označujeme na jejich počest jako „**zákon Bergonie a Tribondeau**“.

První učebnici věnovanou problematice radiologie psanou v češtině vydává v roce 1923 pod názvem „Radium: jeho vlastnosti, použití a výroba u nás i v cizině“ (obr. 1.7) po svém návratu z Paříže František Běhounek (1898–1973) (obr. 1.8).



Obr. 1.7 *První učebnice radiologie v češtině*
(archiv autora)



Obr. 1.8 František Běhounek

(<http://www.horolezeckaabeceda.cz/aktualita.php?id=317>)

V následujícím roce vydává další učebnici věnovanou jak radiu, tak rentgenovým paprskům. Akademik Běhounek byl všestranný fyzik, který se vedle ionizujícího záření věnoval výzkumu atmosférické elektřiny. V roce 1926 založil a v letech 1933–1945 vedl Státní radiologický ústav. V letech 1936–1938 se podílel na založení observatoře atmosférické elektřiny na Štrbském plesu. Mezitím se zúčastnil dvou vědeckých výprav k severnímu pólu. Po roce 1945 působil ve vedoucích funkcích na Československé akademii věd a Univerzitě Karlově. Od roku 1956 vedl katedru dozimetrie ionizujícího záření na Fakultě technické a jaderné fyziky Univerzity Karlovy (na založení fakulty se osobně podílel). Tato fakulta přešla v roce 1959 pod České vysoké učení technické v Praze (ČVUT). V roce 1960 byl jmenován akademikem.

Za významného žáka akademika Běhounka je považován **prof. RNDr. Vilém Santholzer, DrSc.** (1903–1972) (obr. 1.9). V roce 1928 nastoupil do Státního radiologického ústavu, kde pod vedením Františka Běhounka studoval příčiny „jáchymovské nemoci horníků“. Po II. světové válce působil na Ministerstvu zdravotnictví ČSR, odkud v roce 1950 přešel na katedru lékařské fyziky Lékařské fakulty Univerzity Karlovy (LF UK) v Hradci Králové. V letech 1951–1958 v hodnosti plukovníka vedl tuto katedru na Vojenské lékařské akademii Jana Evangelisty Purkyně (VLA JEP). V roce 1951 byl současně 7 měsíců děkanem Vysoké školy chemické v Pardubicích (základ dnešní Univerzity Pardubice). Věnoval se především možnostem mírového využití atomové energie, nebezpečí jejího zneužití i jejího využití při dobývání vesmíru.



Obr. 1.9 Vilém Santholzer

(<https://www.upce.cz/univerzita/historie/kdo/santholzer.html>)