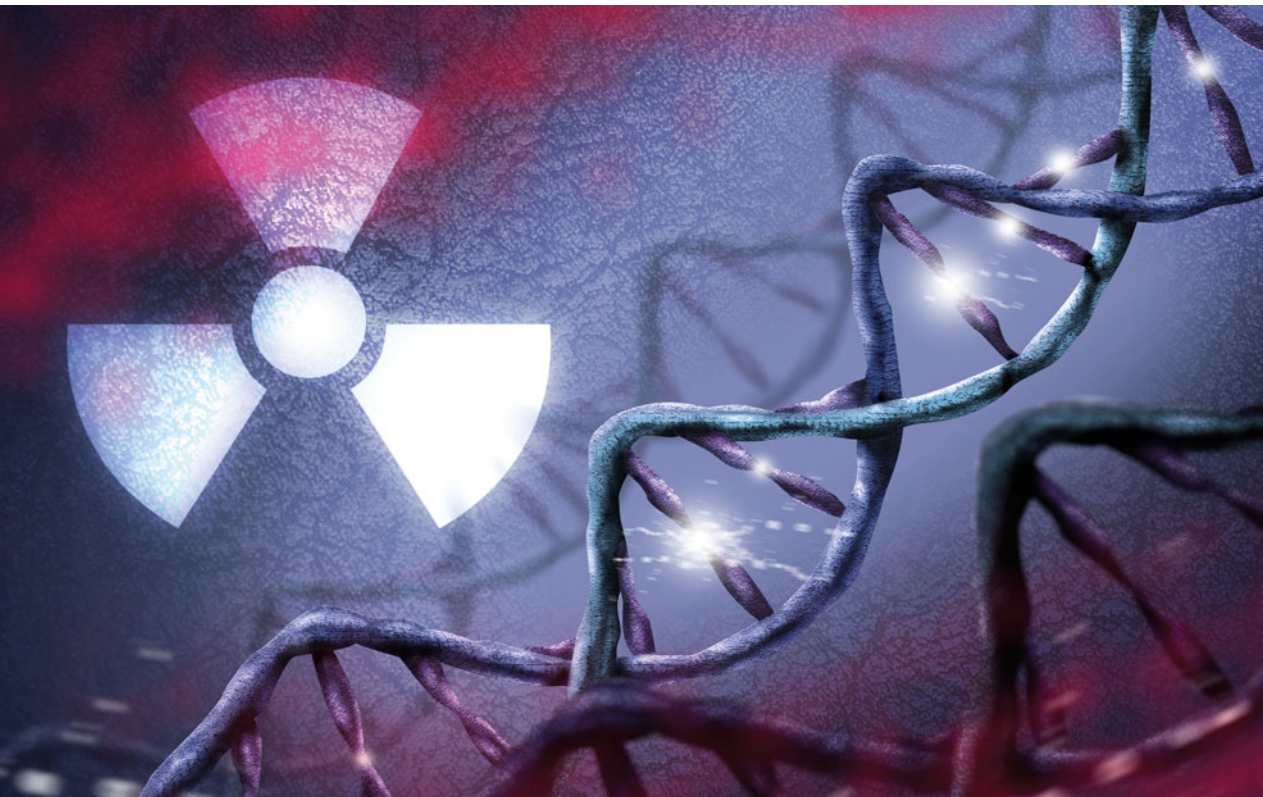


Renata Havráňková – editor

---

# 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. Sítná 3105  
272 01 Kladno

[www.fbmi.cvut.cz](http://www.fbmi.cvut.cz)

Renata Havráňková – 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

|                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Autorský kolektiv</b> . . . . .                                                                                                       | <b>5</b>  |
| <b>Předmluva</b> . . . . .                                                                                                               | <b>10</b> |
| <b>Předmluva editorky</b> . . . . .                                                                                                      | <b>11</b> |
| <b>Seznam použitých zkratk</b> . . . . .                                                                                                 | <b>12</b> |
| <b>1 Pár slov k historii československé radiobiologie (Leoš Navrátil)</b> . . . . .                                                      | <b>17</b> |
| <b>2 Buňka – základní jednotka života (Martin Falk, Iva Falková)</b> . . . . .                                                           | <b>32</b> |
| 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 Lysozomy . . . . .                                                                                                                 | 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        |
| <b>3 Účinky ionizujícího záření na subcelulární a celulární úrovni, mechanismy<br/>reparace DNA (Martin Falk, Iva Falková)</b> . . . . . | <b>67</b> |
| 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<br>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         |
| <b>4</b> | <b>Souhrnná charakteristika klinických změn po ozáření</b> ( <i>Aleksander Nikolajevič Grebenyuk, Julia Čuprová, Emil Kormúth</i> ) . . . . . | <b>102</b> |
| 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        |
| <b>5</b> | <b>Kontaminace radioaktivními látkami</b> ( <i>Renata Havránková</i> ) . . . . .                                                              | <b>114</b> |
| 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        |
| <b>6</b> | <b>Radioprotektivní látky</b> ( <i>Renata Havránková, Leoš Navrátil</i> ) . . . . .                                                           | <b>120</b> |
| 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        |
| <b>7</b> | <b>Přínos radiobiologie pro radioterapii</b> ( <i>Leoš Navrátil, Zuzana Freitinger Skalická</i> ) . . . . .                                   | <b>127</b> |
| 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        |

|                                                                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8 Zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách</b> ( <i>Jan M. Horáček, Ladislav Jebavý, Pavel Žák</i> ) . . . . .                                                | <b>137</b> |
| 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        |
| <b>9 Radiační nehody a havárie</b> ( <i>Jiří Havránek, Renata Havránková</i> ) . . . . .                                                                                       | <b>151</b> |
| 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        |
| <b>10 Úkoly a činnost integrovaného záchranného systému při mimořádné události spojené s únikem radioaktivních látek</b> ( <i>Leoš Navrátil, Renata Havránková</i> ) . . . . . | <b>161</b> |
| 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 činnosti sil a prostředků Státního úřadu pro jadernou bezpečnost . . . . .                                                                                        | 173        |
| 10.5 Úkoly a činnosti sil a prostředků Armády České republiky . . . . .                                                                                                        | 174        |
| 10.6 Úkoly a činnosti sil a prostředků Celní správy ČR . . . . .                                                                                                               | 175        |
| <b>et attexam</b> . . . . .                                                                                                                                                    | <b>176</b> |
| <b>Rejstřík</b> . . . . .                                                                                                                                                      | <b>177</b> |
| <b>Souhrn/Summary</b> . . . . .                                                                                                                                                | <b>184</b> |

## 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 Havráňková, Ph.D.*

## Seznam použitých zkratek

|            |                                                                                       |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| A          | adenin                                                                                |
| AČR        | Armáda České republiky                                                                |
| AET        | aminoetylizotiouonium                                                                 |
| 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,<br>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 dietylenetriaminpentaoctová                                                  |
| DVI        | Disaster Victims Identification (tým pro identifikaci obětí<br>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          | continuous 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 jadérka                                                          |
| 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<br>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 radiální, chemické a biologické ochrany                              |
| RES         | retikuloendoteliální soustava                                                 |
| RNA         | ribonukleová kyselina                                                         |
| ROS         | kyslíkové radikály                                                            |
| rRNA        | ribozomální 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<br>České republiky              |
| SRP         | signal recognition particle                                                   |
| SSA         | single strand annealing, jednořetězová hybridizace                            |
| SSB         | single strand break, jednořetězový zlom                                       |
| SSZP        | Středisko speciální zdravotní péče o osoby ozářené<br>při radiálních nehodách |
| STED        | stimulated emission depletion microscopy                                      |
| SÚJB        | Státní úřad pro jadernou bezpečnost                                           |
| SÚJCHBO     | Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany                           |
| SÚRO        | Státní ústav radiální 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<br>Jana Evangelisty Purkyně |
| VMAT      | volumetric arc therapy, radioterapie s objemově<br>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.



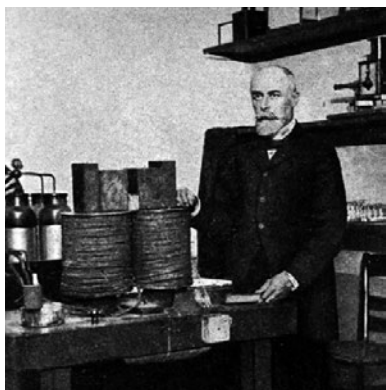
**Obr. 1.1** *Wilhelm Conrad Röntgen*  
([https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Wilhelm\\_Conrad\\_Röntgen](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Wilhelm_Conrad_Röntgen))



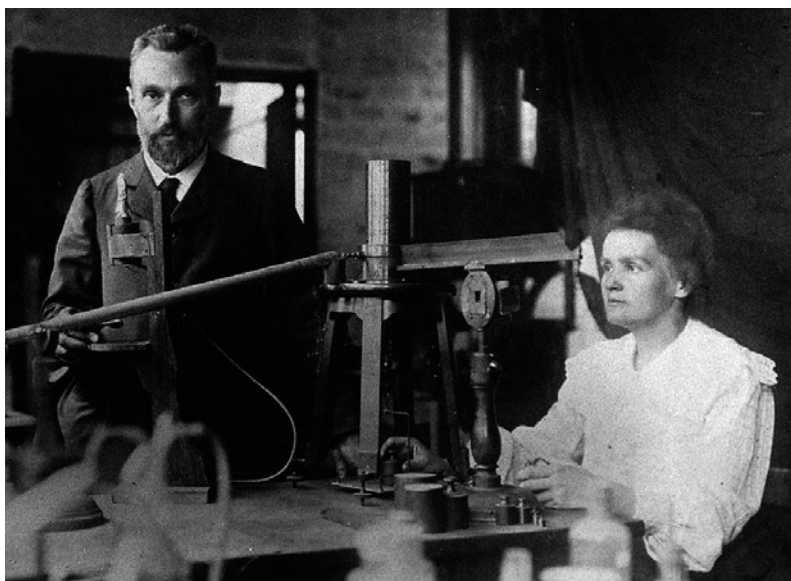
**Obr. 1.2** *Univerzitní laboratoř Wilhelma Conrada Röntgena (archiv autora)*

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 Skłodowska** (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-Sklodowská](https://cs.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie-Sklodowská))

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-