

# SPECIALIZAČNÍ NÁPLŇ

v oboru

## TECHNICKÁ SPOLUPRÁCE V OBORECH NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY, RADIODIAGNOSTIKY A RADIOTERAPIE

### FYZIKA A PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA V NUKLEÁRNÍ MEDICÍNĚ

#### 1. Cíl specializační přípravy

Cílem specializační přípravy je vychovat samostatného a plně kvalifikovaného odborníka s vysokoškolským vzděláním (absolvent např. FJFI ČVUT matematicko-fyzikální fakulty UK, VUT, vzdělání fyzikálního zaměření na přírodovědeckých fakultách univerzit aj.), který je schopen zastávat funkci fyzika nebo inženýra na pracovištích nukleární medicíny s úkoly v oblasti fyzikálních základů nukleární medicíny, přístrojů pro detekci ionizujícího záření, výpočetní techniky, dozimetrie diagnostických a léčebných výkonů s otevřenými zářiči a radiační ochrany v tomto oboru.

#### 2. Požadavky na specializační přípravu

Celková délka specializační přípravy je minimálně *30 měsíců* praxe v pracovním úvazku 1,0, z toho:

a) povinná praxe v oboru

*29 měsíců* na oddělení nukleární medicíny nebo na oddělení lékařské fyziky a radiační ochrany při velkých nemocnicích, v nichž je oddělení nukleární medicíny

b) povinná doplňková praxe

*1 měsíc* na určeném pracovišti nukleární medicíny nebo oddělení lékařské fyziky a radiační ochrany při velkých nemocnicích

c) doporučená doplňková praxe

*1 týden* stáže na pracovišti příbuzného oboru - radiodiagnostika, radioterapie

d) účast na vzdělávacích aktivitách

1. povinná odborná stáž na školicím pracovišti IPVZ *Fyzika a technika v nukleární medicíně* - *1 týden*

2. povinný kurz *Lékařská první pomoc* - *3 dny*

3. povinný seminář *Veřejné zdravotnictví a zdravotnické právo - 1 den*
4. doporučené další školicí akce organizované IPVZ se zaměřením na problematiku oboru a obory příbuzné - informatika a výpočetní technika, statistické metody, lékařská elektronika aj.
5. doporučené odborné akce pořádané ČLS JEP.

### **3. Rozsah požadovaných teoretických znalostí a praktických dovedností**

#### **3.1 Obecná část**

1. Poznání základních principů zdravotnické etiky - orientace v lékařských oborech – základní poznatky z fyziologie a anatomie v rozsahu nutném z hlediska dané profese - základní znalosti vyšetřovacích a léčebných metod v nukleární medicíně v rozsahu nutném pro danou profesi
2. Výpočetní technika v rozsahu přiměřeném dané profesi
3. Základy statistiky
4. Právní předpisy pro práci s otevřenými zářiči
5. Zásady první pomoci při nehodách a úrazech
6. Organizace a systém zdravotní péče v ČR.

#### **3.2 Speciální část**

##### **Teoretické znalosti:**

1. Fyzika a detekce záření (fyzikální vlastnosti radionuklidů, radiofarmaka, interakce záření s prostředím, detekce ionizujícího záření, scintilační spektrometrie záření gama, spektrometrické přístroje pro měření záření gama, měření záření beta a kapalné scintilátory, statistický rozptyl a chyby měření, kontrola kvality a správné funkce spektrometrických přístrojů, měření radioaktivity in vitro, měření radioaktivity in vivo).
2. Scintigrafie (podstata scintigrafie, scintilační kamery, tomografické kamery SPECT, kontrola kvality a fantomová scintigrafická měření, vztah scintigrafie a jiných zobrazovacích metod v radiologii, kontrola kvality zobrazovacích metod).
3. Počítačové zpracování dat v nukleární medicíně (výpočetní technika, počítačové zpracování nescintigrafických měření, počítačové zpracování scintigrafických studií). Statistické metody, základy medicínské informatiky.
4. Radiační ochrana (základní veličiny dozimetrie a radiační zátěž pacientů z radiofarmak při diagnostickém a léčebném použití, biologické účinky ionizujícího záření a radiační riziko, předpisy (Atomový zákon č. 18, Vyhláška č. 184/1997 aj.), limity a lékařské ozáření, uspořádání pracovišť a způsoby ochrany pracovníků před zářením, programy monitorování a zabezpečení jakosti aj., uchovávání a likvidace odpadů znečištěných radionuklidy, dokumentace na pracovištích a požadavky SÚJB při inspekcích).

### **Praktické dovednosti:**

Obsluha detekčních spektrometrických aparatur pro měření in vitro a in vivo, proměrování jejich detekčních parametrů, proměrování parametrů scintilačních kamer - SPECT systémů a správná interpretace výsledků (pokud možno v soulase s doporučením SÚJB), výpočet chyb měření, zavádění a prověřování výpočetních programů pro vyšetřovací postupy, praktické postupy při monitorování pracoviště a interpretaci výsledků, hodnocení radiační zátěže pracovníků, výpočet dávek v orgánech a efektivní dávky při diagnostickém použití radiofarmak, výpočet dávek v cílových orgánech při léčebném použití radiofarmak, výpočet stínění a řešení dalších praktických úloh na oddělení nukleární medicíny v souvislosti s radiační ochranou.

Podrobnější náplň studia speciální části je uvedena **v příloze 1.**

## **4. Hodnocení specializační přípravy**

Specializační příprava probíhá podle studijního plánu, který ihned po zařazení do přípravy vypracuje školenec se svým školitelem. Školitel musí mít alespoň 10 let praxe v oboru a absolvovanou atestaci v oboru. Školící plán schvaluje ředitel zdravotnického zařízení, kde je školenec zaměstnán. Jeho kopie je předána subkatedře nukleární medicíny IPVZ.

### 1) Průběžné hodnocení školitelem

Školitel provádí minimálně jednou za rok zápis do indexu o průběhu a absolvované praxi.

### 2) Předpoklad přístupu ke zkoušce

1. absolvování povinných školicích akcí
2. úspěšné absolvování písemného testu na závěr specializačního kurzu
3. vypracování a předložení písemného projektu na zadané téma (určí školitel, event. školicí pracoviště).

### 3) Vlastní závěrečná zkouška

- a) teoretická část - 3 odborné otázky (z oblasti teorie zobrazování v nukleární medicíně, přístrojová a výpočetní tematika, radiační ochrana, včetně aplikace základních znalostí zdravotnické legislativy)
- b) část praktická - řešení konkrétních problémů nebo příkladů z oblasti fyzikální, dozimetrické a radiačně hygienické v nukleární medicíně.

## **5. Charakteristika činnosti**

Zvládání veškeré detekční a výpočetní techniky v nukleární medicíně včetně kontroly kvality, dozimetrie radiofarmak a radiační ochrany. Spolupráce s lékaři při zavádění nových diagnostických a léčebných postupů spojených s aplikací radiofarmak. Schopnost vykonávat funkci dohlížejícího pracovníka na radiační ochranu.

Účast na dalším vzdělávání všech zdravotnických pracovníků na svém pracovišti v rámci své specializace. Sledování domácích i zahraničních trendů v oboru, osvojení základů vědecké práce. Uplatňování získaných poznatků v praxi při zavádění a využívání moderních přístupů a metodik pro potřeby vlastního pracoviště i pro rozvoj oboru jako celku.

## 6. Seznam doporučené literatury

1. DENDY, P.P., HEATON, B.: *Physics for Diagnostic Radiology*. Second Ed., Institute of Physics Publishing, Bristol, 1999
2. DIENSTBIER, Z. (ed.): *Diagnostika metodami nukleární medicíny*. Avicenum Praha, 1989
3. Doporučení SÚJB: *Systém zabezpečení jakosti na pracovištích nukleární medicíny - přístrojová technika*. Zbraslav, Ústav jaderných informací, 1999
4. DÖRSCHHEL et al.: *Physics of Radiation Protection*. Ashford, Nuclear Technology Publishing, 1995
5. DOWSETT, D.J., KENNY, P.A., JOHNSTON, R.E.: *The Physics of Diagnostic Imaging*. Chapman and Hall Medical, London, 1998
6. HENKIN, R.E. et al. (Eds.): *Nuclear Medicine*. St. Louis - Baltimore, Mosby, 1996
7. HUŠÁK, V.: *Dozimetrie a ochrana před zářením v nukleární medicíně*. Institut pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků, Brno, 1987
8. CHANDRA, R.: *Nuclear Medicine Physics - The Basics*. (Fifth Edition), Williams and Wilkins, Baltimore, 1998
9. KOLEKTIV AUTORŮ: *Nukleární medicína*. (učební text) Ústav nukleární medicíny 1. LF UK a VFN, Gentiana, Praha, 2000
10. MYSLIVEČEK, M., HUŠÁK, V., KORANDA P.: *Nukleární medicína I*. UP Olomouc, 1995
11. SORENSON, J.A., PHELPS, M.E.: *Physics in Nuclear Medicine*. Second Edition, Orlando - New York, Grune and Stratton, 1987 (v r. 2001 bude třetí vydání)
12. WILSON, M.A. et al. (Eds.): *Textbook of Nuclear Medicine*. Lippincott-Raven Publishers Philadelphia, 1998
13. Zákon č. 18 *O mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření z r. 1997*. Vyhláška SÚJB č. 184/1997 Sb. a další související vyhlášky SÚJB

### Časopisy

European Journal of Nuclear Medicine  
Journal of Nuclear Medicine  
Medical Physics  
Physics in Medicine and Biology  
Nuclear Medicine Communications  
Česká radiologie  
Lékař a technika

## PŘÍLOHA 1:

# Fyzikální a technická spolupráce v nukleární medicíně

## A. Fyzikální vlastnosti a detekce záření

### *1. Fyzikální vlastnosti radionuklidů*

Stavba atomových jader. Radioaktivita - podstata, jednotky, poločas přeměny (rozpadu). Přeměna  $\alpha$ . Záření  $\beta^-$  a  $\beta^+$  - vznik, vlastnosti, spektrum; elektronový záchyt. Záření  $\gamma$  a X - vznik, vlastnosti, energetická spektra. Fyzikální charakteristiky nejčastěji používaných radionuklidů v nukleární medicíně. Základní způsoby výroby radionuklidů.

Generátory radionuklidů používané v nukleární medicíně.

### *2. Interakce záření s prostředím*

Interakce záření alfa a beta s prostředím - ionizace, pronikavost (dolet) záření ve vzduchu a látkovém prostředí. Interakce záření gama - fotoefekt, Comptonův rozptyl, tvoření elektron-positronových párů. Absorpce záření v látkách - problematika stínění.

### *3. Detekce ionizujícího záření*

Ionizační komory - princip činnosti, využití pro ochrannou dozimetrii, měřiče aktivity se studnovou ionizační komorou. Geiger-Müllerovy detektory - princip činnosti, parametry (účinnost, mrtvá doba), konstrukce GM trubic pro záření beta a gama, využití GM trubic pro ochrannou dozimetrii. Fotografická detekce ionizujícího záření - filmová dozimetrie. Termoluminiscenční dozimetrie.

### *4. Scintilační spektrometrie záření gama*

Scintilátory - interakce fotonového záření a vznik scintilací, druhy scintilátorů a jejich vlastnosti. Fotonásobiče - princip činnosti, konstrukce. Detekční jednotky (sondy) pro záření gama - konstrukce scintilačních krystalů, planární (ploché) a studnové krystaly, optický kontakt s fotonásobičem. Scintilační spektra radionuklidů - vznik a struktura scintilačního spektra, energetická rozlišovací schopnost, účinnost měření, citlivost, pozadí, časová rozlišovací schopnost (mrtvá doba), její měření a korekce na mrtvou dobu.

### *5. Spektrometrické přístroje pro měření záření gama*

Zdroj VN pro napájení scintilačních sond - nastavení vysokého napětí. Zesilovač impulsů. Analyzátor impulsů - princip činnosti, integrální a diferenciální měření. Optimalizace nastavení parametrů a spektrometrického režimu. Čítač impulsů a nastavení měřicího času a počtu impulsů. Výstup a prezentace výsledků - integrátor, zapisovač, tiskárna, spojení s počítačem. Spektrometry s polovodičovými detektory a jejich použití.

## *6. Měření záření beta a kapalné scintilátory*

Detekce záření beta GM trubicemi a pevnými (plastickými) scintilátory. Kapalné scintilátory - princip činnosti, výhody a nevýhody, chemiluminiscence, zhášení a jeho korekce, konstrukce přístrojů. Použití kapalných scintilátorů pro měření  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  a dalších zářičů beta.

## *7. Statistický rozptyl a chyby měření*

Stochastický charakter radioaktivní přeměny (rozpadu) a emise záření - statistické fluktuační chyby, statistická chyba měření a možnosti jejího ovlivnění. Vliv pozadí, mrtvé doby a nestability přístroje - jejich minimalizace a korekce. Celková chyba měření - statistická chyba a chyba způsobená jinými vlivy. Přesnost a reprodukovatelnost stanovení výsledku.

## *8. Kontrola kvality a správné funkce spektrometrických přístrojů*

Měření energetické rozlišovací schopnosti a mrtvé doby. Kontrola pozadí a spektrometrické stability - stabilita krátkodobá a dlouhodobá, systém měření a sledování stability polohy fotopíky.

## *9. Měření radioaktivity vzorků (in vitro)*

Geometrie měření :  $4\pi$ - geometrie, polohová a objemová závislost účinnosti měření, absorpce a samoabsorpce záření. Nastavení detekční aparatury. Automaty pro měření sérií vzorků. Vícedetektorové systémy - konstrukce, spektrometrické nastavení, korekce rozdílné účinnosti detektorů, kontrola funkce a standardizace. Hybridní systémy. Výhody vícedetektorových systémů.

## *10. Měření radioaktivity v organismu (in vivo)*

Celotělová a lokální měření. Kolimace. Absorpce záření v tkáni, vliv rozptýleného záření a potlačení jeho detekce. Dynamická vyšetření - principy a technická realizace, vliv mrtvé doby, výhody a nevýhody oproti dynamické scintigrafii. Radionuklidová renografie - nastavení detekční aparatury, souběh obou detektorů, správná kolimace, registrace nefrografických křivek.

## **B. Scintigrafie**

### *1. Podstata scintigrafie*

Základní principy scintigrafického zobrazení. Scintigrafie planární a tomografická. Scintigrafie statická a dynamická.

### *2. Pohybové scintigrafy*

Princip činnosti a konstrukce. Fokusační kolimátory, registrační zařízení. Nevýhody ve srovnání se scintilačními kamerami.

### *3. Scintilační kamery*

Princip činnosti Angerovy kamery. Kolimátory - konstrukce (kolimátory paralelní, divergentní, konvergentní a jednoděrové), energetické vlastnosti, citlivost (účinnost), prostorové rozlišení, zásady pro optimální volbu kolimátorů. Vnitřní rozlišení detektoru a celková rozlišovací schopnost kamery. Mrtvá doba scintilační kamery. Homogenita zorného pole - příčiny nehomogenity, kontrola a korekce nehomogenity. Spektrometrické nastavení scintilační kamery a jejího vlivu na kvalitu obrazu. Analogové obrazy - perzistentní osciloskop, fotografování analogových obrazů, expozice a kontrast, informační hustota a vliv statistických fluktuací. Připojení kamery k počítači.

### *4. Tomografické kamery*

Základní principy tomografického zobrazení. SPECT - princip činnosti jednofotonové emisní tomografie, střádání a rekonstrukce tomografických obrazů, výhody a úskalí. Kamery PET - princip činnosti, vhodné radionuklidy, možnosti využití.

### *5. Kontrola kvality a fantomová scintigrafická měření*

Homogenita zorného pole kamery - měření s bodovým zářičem a plošným zdrojem, stanovení nehomogenity, kontrola stability zorného pole. Rozlišení kamery - vnitřní a celkové rozlišení, měření s bodovým a čárovým zdrojem. Stanovení měřítka zobrazení. Mrtvá doba - mrtvá doba kamery a efektivní mrtvá doba systému kamera+počítač, měření metodou dvouvzorkovou, vícevzorkovou a metodou kontinuální změny aktivity. Fantomová měření - fantomy pro statickou scintigrafii (štítné žlázy, jater, ...), dynamické fantomy (např. srdeční), účel fantomových měření.

### *6. Vztah scintigrafie a ostatních zobrazovacích metod*

Společné vlastnosti a rozdíly mezi scintigrafií, rentgenovým zobrazením konvenčním a CT, sonografií a nukleární magnetickou rezonancí. Výhody, nevýhody a komplementarita jednotlivých metod.

## **C. Počítačové zpracování dat v nukleární medicíně**

### *1. Výpočetní technika*

Základní principy činnosti počítače. Druhy a kategorie počítačů. Hardware a software. Periferní zařízení - magnetická pásková a disková paměť, displej, tiskárna, přenos dat mezi přístrojem a počítačem, síť. Programové vybavení - operační systém, programovací jazyky. Základy práce s personálními počítači.

### *2. Počítačové zpracování nescintigrafických měření*

Počítačová registrace výsledků z jedno- a vícedetektorových měřičů vzorků. Základní principy vyhodnocování RIA. Stanovení glomerulární filtrace vzorkovou metodou. Stanovení poločasu přežívání erytrocytů a jejich orgánové sekvence.

### *3. Počítačové zpracování scintigrafických studií*

Vlastnosti vyhodnocovacích zařízení pro scintigrafii. Střádání scintigrafických studií - digitalizace obrazu, matice pro střádání, měřítko zobrazení ("zoom"), předvolby času a impulsů. Zadávání údajů o scintigrafických studiích. Střádání dynamických studií - předvolba snímkové frekvence, grupování snímků, spuštění a ukončení studie. Synchronizace scintigrafických studií se signály EKG, vylučování anomálních srdečních cyklů. Zpracování scintigrafického obrazu - jasová a barevná modulace, zvětšování a zmenšování obrazů, vyhlazování obrazu (filtry, výhody a úskalí), skládání a aritmetické operace s obrazy, vyznačování zájmových oblastí (ROI) na obraze a stanovení poměrů lokálních aktivit, korekce na homogenitu zorného pole kamery. Základní zpracování dynamických studií - zobrazení sekvencí snímků, skládání snímků, konstrukce křivek časového průběhu radioaktivity v ROI, korekce na mrtvou dobu systému kamera-počítač. Zobrazení a základní matematické zpracování křivek - vyhlazování, stanovení plochy pod křivkou, derivace a integrace, prokládání funkcí metodou nejmenších čtverců (lineární a exponenciální funkce - jejich význam). Parametrické obrazy - princip konstrukce lokálně parametrických obrazů, použití pro funkční scintigrafické studie, Fourierovská fázová analýza (obrazy fáze a amplitudy, jejich hodnocení, lokální kvantifikace). Komplexní programy - zásady tvorby a použití komplexních programů, ruční a automatické zpracování, prezentace obrazů, kvantitativních výsledků a jejich interpretace, vizuální hodnocení a vkládání slovních údajů. Základní principy komplexního počítačového zpracování některých typických scintigrafických studií - ventrikulografie, radiokardiografie, scintigrafie myokardu, dynamické scintigrafie ledvin, perfuze mozku.

## **D. Radiační hygiena**

### *1. Základní veličiny dozimetrie a radiační zátěž pacientů z radiofarmak*

Veličiny a jednotky dozimetrie ionizujícího záření a radiační ochrany. Absorbovaná dávka, ekvivalentní dávka, dávkový ekvivalent, efektivní dávka - jejich definice a jednotky.

Základní principy stanovení radiační zátěže z radiofarmak - absorbovaných dávek v orgánech těla a efektivní dávky. Třídění radiofarmak podle výše efektivní dávky do skupin. Porovnání efektivních dávek z nejdůležitějších vyšetření v nukleární medicíně s efektivními dávkami v radiodiagnostice.

### *2. Biologické účinky ionizujícího záření a radiační riziko*

Biologické účinky ionizujícího záření. Mechanismus účinku. Účinky deterministické a stochastické; výskyt těchto účinků při diagnostických a terapeutických postupech v lékařství využívajících ionizujícího záření. Porovnání radiačního rizika diagnostiky pomocí radiofarmak s riziky jiných lidských činností a riziky v životním prostředí. Přijatelnost rizika.

### *3. Předpisy, limity a lékařské ozáření*

Obecné podmínky pro vykonávání činností vedoucích k ozáření (atomový zákon č. 18/1997 Sb., § 4) - principy zdůvodnění, optimalizace a nepřekročení limitů. Lékařské ozáření. Ozáření z přírodních zdrojů.

Limity ozáření se zaměřením na základní limity obecné, limity pro pracovníky se zdroji (vyhláška č. 184/1997 Sb., § 9 a § 10) a limity zvláštní (§ 12). Odvozené limity pro zevní a vnitřní ozáření (§ 13).

Lékařské ozáření (vyhláška č. 184/1997 Sb., § 34), jeho zdůvodnění, směrné hodnoty pro lékařská ozáření a optimalizace se zaměřením na nukleární medicínu. Volba aplikované aktivity radiofarmak při vyšetřování dětí. Aplikace radiofarmak těhotným ženám a odhad rizika stochastických účinků ozáření plodu. Léčebné aplikace radiofarmak a propouštění pacientů do domácí péče. Radiační ochrana pacienta.

#### *4. Uspořádání pracovišť a způsoby ochrany pracovníků před zářením*

Kontrolované pásmo (vyhláška č. 184/1997 Sb. § 35-37) se zaměřením na pracoviště nukleární medicíny. Zvláštní podmínky bezpečného provozu pracovišť s otevřenými radionuklidovými zářiči (§ 40). Kategorie pracovišť. Způsoby ochrany pracovníků před zevním zářením a vnitřní kontaminací. Osobní ochranné prostředky a ochranné pracovní pomůcky při jednotlivých pracovních úkonech.

#### *5. Programy monitorování a zabezpečení jakosti*

Program monitorování (vyhláška č. 184/1997 Sb., § 46, § 48) na pracovištích nukleární medicíny. Monitorování pracoviště - měření dávkového příkonu a povrchové kontaminace (§ 49), monitorování osobní (§ 50), monitorování výpustí (§ 51). Nakládání s odpady znečištěnými radionuklidy (§ 5). Vnitřní havarijní plán.

Program zabezpečení jakosti na pracovištích nukleární medicíny. Radiofarmaka (objednávání, přeprava, přejímání, skladování, příprava k aplikaci, kontrola kvality), dodržování směrných hodnot aktivit aplikovaných pacientům při diagnostických výkonech, kontrola kvality přístrojové techniky.

#### *6. Dokumentace na pracovištích a požadavky SÚJB při inspekcích*

Dokumentace vedená na pracovištích se zdroji ionizujícího záření. Požadavky SÚJB při inspekcích na pracovištích nukleární medicíny.