

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Marcel Homolka

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií

Radionuklidové zobrazení mízního systému

Bakalářská práce

2023

Marcel Homolka

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií  
Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Marcel Homolka**  
Osobní číslo: **Z20099**  
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**  
Studijní obor: **Radiologický asistent**  
Téma práce: **Radionuklidové zobrazení lymfatického systému**  
Téma práce anglicky: **Radionuclide imaging of the lymphatic system**  
Zadávající katedra: **Katedra klinických oborů**

## Zásady pro vypracování

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

FÖLDI, M., E. FÖLDI, 2014. *Lymfologie*. Praha: Grada. ISBN: 978-80-247-4300-4.

KORANDA, P. et al., 2014. *Nukleární medicína*. Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN: 978-80-244-4031-6.

KUPKA, K. et al., 2015. *Nukleární medicína*. Praha: Nakladatelství P3K. ISBN: 978-80-87343-60-9. Dostupné z: [https://www.p3k.cz/odkazy/nuklearni\\_medicina\\_skripta2015\\_fullres.pdf](https://www.p3k.cz/odkazy/nuklearni_medicina_skripta2015_fullres.pdf).

NEZDAŘILOVÁ, T., 2017. *SPECT/CT zobrazení nádorů štítné žlázy – úloha radiologického asistenta*. Bakalářská práce, Pardubice, Univerzita Pardubice, Fakulta zdravotnických studií. Vedoucí práce: Ing. Jiří Kulíš. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68395/NezdarilovaT\\_SPECTCTZobrazeni\\_JK\\_2017.pdf](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68395/NezdarilovaT_SPECTCTZobrazeni_JK_2017.pdf).

Vedoucí bakalářské práce: **doc. MUDr. Jiří Doležal, Ph.D.**  
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. dubna 2023**

**doc. Ing. Jana Holá, Ph.D.** v.r.  
děkanka

L.S.

**Mgr. Zuzana Červenková, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 2. března 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Radionuklidové zobrazení mízního systému jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 4. 2023

Marcel Homolka v. r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Mé poděkování patří panu doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat paní děkance doc. Ing. Janě Holé, Ph.D. za pomoc při statistickém šetření, dále děkuji své rodině a přítelkyni za trpělivost a podporu během celého studia.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce s názvem „Radionuklidové zobrazení mízního systému“ se zabývá zobrazováním mízního (lymfatického) systému pomocí radionuklidové metody – scintigrafie. Teoretická část je zaměřena na historii radiologie, práci radiologického asistenta, oddělení nukleární medicíny, radiační ochranu a mízní systém. Praktická část se věnuje popisu, přípravě a průběhu radionuklidového zobrazení lymfatického systému.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Lymfoscintigrafie, nukleární medicína, mízní systém, lymfedém

## **TITLE**

Radionuclide imaging of the lymphatic system

## **ANNOTATION**

This bachelor's thesis entitled "Radionuclide imaging of the lymphatic system" deals with the imaging of the lymphatic system using the radionuclide method – scintigraphy. The theoretical part is focused on the history of radiology, the work of a radiologic technologist, the department of nuclear medicine, radiation protection and the lymphatic system. The practical part is devoted to the description, preparation and course of radionuclide imaging of the lymphatic system.

## **KEYWORDS**

Lymphoscintigraphy, nuclear medicine, lymphatic system, lymphoedema

# OBSAH

Úvod .....	13
1 Cíle práce.....	14
1.1 Cíl práce .....	14
1.1.1 Dílčí cíle práce.....	14
1.2 Metoda pro dosažení cílů .....	14
2 Teoretická část.....	15
2.1 Historie radiologie.....	15
2.2 Radiologický asistent .....	15
2.2.1 Odborná způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta .....	15
2.2.2 Působení radiologického asistenta.....	16
2.3 Nukleární medicína .....	17
2.3.1 Pracoviště nukleární medicíny .....	17
2.3.2 Radionuklidy .....	18
2.3.3 Radiofarmaka .....	21
2.3.4 Druhy radioaktivních přeměn.....	22
2.3.5 Základní přístrojová technika v nukleární medicíně .....	23
2.3.6 Veličiny a jednotky v nukleární medicíně.....	26
2.3.7 Veličiny biologických účinků ionizujícího záření.....	27
2.4 Radiační ochrana .....	27
2.4.1 Principy radiační ochrany.....	28
2.4.2 Limity ozáření .....	29
2.4.3 Kategorizace radiačních pracovníků .....	30
2.4.4 Kategorizace zdrojů ionizujícího záření.....	30
2.4.5 Kategorizace pracovišť se zdrojem ionizujícího záření .....	30
2.4.6 Kontrolované a sledované pásmo .....	31
2.4.7 Monitorování ionizujícího záření .....	31



2.5	Mízní systém .....	31
2.5.1	Míza a mízní cévy .....	32
2.5.2	Mízní orgány .....	33
2.5.3	Hlavní mízní kmeny .....	34
2.5.4	Mízní cévy dolních končetin .....	36
2.5.5	Mízní uzliny dolních končetin.....	37
2.5.6	Onemocnění mízního systému .....	38
2.5.7	Lymfedém .....	38
3	Praktická část.....	44
3.1	Metodika praktické části .....	44
3.2	Radionuklidové zobrazení mízního systému.....	44
3.2.1	Průběh vyšetření .....	46
4	Průzkumná část.....	50
4.1	Věkové skupiny pacientů .....	50
4.2	Normální kapacita mízních cév .....	52
4.3	Nedostatečnost v klidu, norma v zátěži .....	54
4.4	Insuficience v klidu i zátěži.....	55
5	Diskuze .....	57
6	Závěr.....	60
7	Použitá literatura.....	62
8	Přílohy .....	66

## SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1 – Schéma nejběžněji používaného $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátoru (Vlk et al., 2020) .....	20
Obrázek 2 – Přeměnové schéma $^{99}\text{Mo}$ (Vlk et al., 2020) .....	20
Obrázek 3 – Hlavní mízní kmeny (Čihák, 2016) .....	35
Obrázek 4 – Angulus dexter et sinister se vstupy hlavních mízních kmenů do žil (Čihák, 2016) .....	35
Obrázek 5 – Mízní cévy a mízní uzliny dolní končetiny (Čihák, 2016) .....	37
Obrázek 6 – Dvuhlavá scintilační gamakamera se SPECT/CT (vlastní tvorba autora) .....	45
Obrázek 7 – Odstíněná stříkačka s radiofarmakem (vlastní tvorba autora) .....	46
Obrázek 8 – Místo aplikace radiofarmaka (vlastní tvorba autora) .....	47
Obrázek 9 – Uložení pacienta na stůl gamakamery (vlastní tvorba autora) .....	47
Obrázek 10 – Scintigram s normálním nálezem (Doležal, 2021) .....	53
Obrázek 11 – Scintigram s patologickým nálezem (Doležal, 2021) .....	56
Tabulka 1 – Příklady radionuklidů (Doležal, 2021) .....	19
Tabulka 2 – Doporučené radiační váhové faktory dle ICRP 103 (Klener et al., 2009, s. 57)..	27
Tabulka 3 – Doporučené tkáňové váhové faktory dle ICRP 103 (Klener et al., 2009, s. 58)..	27
Tabulka 4 – Věkové skupiny pacientů .....	50
Tabulka 5 – Pacienti s normální kapacitou mízních cév .....	52
Tabulka 6 – Pacienti s insuficiencí mízních cév v klidu a normalizovanou kapacitou v zátěži .....	54
Tabulka 7 – Pacienti s insuficiencí v klidu i zátěži .....	55
Tabulka 8 – Porovnání českých zdravotnických zařízení .....	57
Graf 1 – Rozdělení pacientů podle věku .....	51
Graf 2 – Rozdělení pacientů podle pohlaví .....	51
Graf 3 – Krabicový graf věků pacientů .....	52

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A	aktivita
ALARA	as low as reasonably achievable
Bq	becquerel
cca	cirka
CT	výpočetní tomografie
č.	číslo
d	den
D	dávka v uvažovaném bodě tkáně
DK	dolní končetina
$D_{T,R}$	střední absorbovaná dávka ve tkáni či orgánu
E	efektivní dávka
$E_k$	kinetická energie
EKG	elektrokardiograf
et al.	a kolektiv
EZ	elektronový záchyt
eV	elektronvolt
GBq	gigabecquerel
Gy	gray
h	hodina
H	dávkový ekvivalent
$H_p$	osobní dávkový ekvivalent
$H_T$	ekvivalentní dávka
IP	izomerický přechod

ICRP	International Commission on Radiological Protection (Mezinárodní komise pro radiační ochranu)
IZ	ionizující záření
kBq	kilobecquerel
keV	kiloelektronvolt
m	muž
MBq	megabecquerel
MeV	megaelektronvolt
min	minuta
mm	milimetr
MR	magnetická rezonance
mSv	milisievert
μSv	mikrosievert
LDK	levá dolní končetina
např.	například
NM	nukleární medicína
PDK	pravá dolní končetina
PET	pozitronová emisní tomografie
PET/CT	pozitronová emisní tomografie spojená s výpočetní tomografií
Q	jakostní činitel
r	rok
ROI	region of interest (oblast zájmu)
s	sekunda
Sb.	sbírka
SPECT	jednofotonová emisní tomografie

SPECT/CT	jednofotonová emisní tomografie spojená s výpočetní tomografií
Sv	sievert
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
$T_{1/2}$	poločas přeměny
USG	ultrasonografie
WB	Whole Body (celé tělo)
$w_R$	radiační váhový faktor
$w_T$	tkáňový váhový faktor
Z	protonové číslo
ž	žena

## ÚVOD

Lymfedém je onemocněním chronickým, progresivním, ale také mohou být tito pacienti vyčerpaní. Může tak dojít ke zhoršení kvality života – jak po fyzické, tak především po psychické stránce. Existují dva typy lymfedému – primární a sekundární. Jako primární je označován takový lymfedém, který se vyvíjí až v pozdějším stádiu lymfagiogeneze. Oproti tomu za sekundární lymfedém může obstrukce (překážka), případně narušení mízního systému. Tento typ může nastat jako následek malignity, operace, traumatu nebo např. infekce či radioterapeutického ozáření. Lymfedém vzniká po narušení toku a následně dochází k otoku dané končetiny (de Haas, nedatováno; Pappalardo et al., 2019; Zimmerman et al., 2012).

Základem pro léčbu pacientů postižených nedostatečností v mízním systému, konkrétně lymfedémem, je správná diagnostika onemocnění, určení stádia nemoci a výběr ideální léčby. K odhalení se dají použít různé metody. Jednou z nich je lymfoscintigrafie. Radionuklidové zobrazování mízního systému je spolehlivou metodou pro hodnocení lymfatických funkcí. Považuje se za zlatý standard mezi zobrazovacími metodami právě pro správnou diagnostiku lymfedému (Pappalardo et al., 2019; Zimmerman et al., 2012).

Dle Pappalardo et al. (2019) je lymfedémem postiženo 200 milionů lidí na světě. Téměř polovina pacientů s tímto onemocněním jsou ženy po onkologickém gynekologickém ozáření. Léčba je velmi náročná a dlouhotrvající. Nemoc se nedá zcela vyléčit. Terapie může obsahovat manuální lymfodrenáž, používání kompresivních punčoch či pohybová a dechová cvičení (NZIP, 2023).

# **1 CÍLE PRÁCE**

## **1.1 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je popsat radionuklidové zobrazování mízního systému dolních končetin.

### **1.1.1 Dílčí cíle práce**

- 1) Porovnat zobrazení lymfatického systému dolních končetin mezi různými nemocnicemi/zdravotnickými zařízeními.
- 2) Určit skupinu pacientů nejčastěji se léčících s nedostatečností mízního systému dolních končetin.

## **1.2 Metoda pro dosažení cílů**

Metodika teoretické části této práce je postavena na historii radiologie, radiologickém asistentovi, nukleární medicíně, radiační ochraně a mízním systému.

Metodika praktické části je pak založena na popsání zobrazování lymfatického systému dolních končetin pomocí radionuklidové metody.

Metodika průzkumné části se zabývá zpracováním dat o pacientech sesbíraných na praxích autora práce.

Následně budou porovnána různá zdravotnická zařízení, která provádějí zobrazení mízního systému a zhodnoceny rozdíly mezi nimi a budou shrnuta data o pacientech, kteří dané vyšetření podstoupili. Z těchto dat bude následně určena skupina vyšetřených, jež se nejčastěji léčí s mízní nedostatečností dolních končetin.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá historií radiologie, dále prací radiologického asistenta, s čímž jsou spojeny také požadavky na tohoto pracovníka. Další kapitola se věnuje popisu samotného oddělení nukleární medicíny, ve které jsou taktéž shrnuty údaje o používaných radiofarmacích. S touto kapitolou souvisí čtvrtá kapitola, která popisuje radiační ochranu a její principy. A poslední kapitola je věnována míznímu (lymfatickému) systému, uvádí také informace o lymfedému, jenž je hlavním tématem této práce.

### 2.1 Historie radiologie

Rentgenové paprsky (paprsky záření X) byly objeveny 8. listopadu 1895 Wilhelmem Conradem Röntgenem (1845–1923), který prováděl pokusy s katodovými trubicemi. Díky tomuto převratnému objevu byl umožněn obrovský rozvoj radiodiagnostického oboru. K rentgenu se později připojily další principálně jiné diagnostické přístroje, např. výpočetní tomografie (CT), ultrasonografie (USG), termografie, magnetická rezonance (MR) a hybridní přístroje využívané v nukleární medicíně. Na přelomu 19. a 20. století vznikaly první rentgenové přístroje. V té době také začíná historie radiologického asistenta.

### 2.2 Radiologický asistent

Radiologický asistent je nelékařský pracovník, který má spoustu požadavků společných se zdravotnickými pracovníky. Měl by být citlivý, ohleduplný, chápavý, profesionální a mít správná rozhodnutí ve vlastní odborné činnosti. Specifická je pro něj práce se zdroji s ionizujícím zářením nebo v silném magnetickém poli. Radiologický asistent většinou pracuje u běžných vyšetření samostatně. Výsledek jeho práce je dotvořen radiologem (odborný lékař zabývající se radiodiagnostikou). Radiologický asistent nepracuje pro lékaře, ale společně s ním pro pacienta.

#### 2.2.1 Odborná způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta

Odbornou způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta nám udává zákon č. 96/2004 Sb. o nelékařských zdravotnických povoláních, konkrétně § 8.

*„(1) Odborná způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta se získává absolvováním*

- a) akreditovaného zdravotnického bakalářského studijního oboru pro přípravu radiologických asistentů,*



- b) *tříletého studia v oboru diplomovaný radiologický asistent na vyšších zdravotnických školách, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 2004/2005, nebo*
- c) *střední zdravotnické školy v oboru radiologický laborant, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 1996/1997.*

*(2) Za výkon povolání radiologického asistenta se považuje zejména provádění radiologických zobrazovacích i kvantitativních postupů, léčebné aplikace ionizujícího záření a specifické ošetrovatelské péče poskytované v souvislosti s radiologickými výkony. Radiologický asistent provádí činnosti související s radiační ochranou podle zvláštního právního předpisu) a ve spolupráci s lékařem se podílí na diagnostické a léčebné péči. Činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany může radiologický asistent vykonávat, pokud splňuje požadavky stanovené zvláštním právním předpisem).“ (Zákon č. 96/2004 Sb.)*

### **2.2.2 Působení radiologického asistenta**

Působení radiologického asistenta je dáno vyhláškou č. 55/2011 Sb. o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků, konkrétně § 7).

*„(1) Radiologický asistent vykonává činnosti podle § 3 odst. 1 a dále může bez odborného dohledu, bez indikace a v souladu s postupy stanovenými zákonem o specifických zdravotních službách pro poskytování zdravotních služeb, jejichž součástí je lékařské ozáření, (dále jen „postup lékařského ozáření“)*

- a) *asistovat a instrumentovat při intervenčních výkonech,*
- b) *přijímat, kontrolovat a ukládat zdravotnické prostředky,*
- c) *provádět specifickou ošetrovatelskou péči poskytovanou v souvislosti s radiologickými výkony a*
- d) *přijímat, kontrolovat a ukládat léčivé přípravky) a manipulovat s nimi.*

*(2) Radiologický asistent, který je aplikujícím odborníkem s klinickou odpovědností za praktickou část lékařského ozáření, dále může bez odborného dohledu, bez indikace a v souladu s postupy lékařského ozáření provádět praktickou část lékařského ozáření při*

- a) *standardních skiagrafických zobrazovacích výkonech,*
- b) *standardních mamografických zobrazovacích výkonech včetně screeningových,*
- c) *peroperační skiaskopii a skiaskopii pro navigaci,*
- d) *kostní denzitometrii,*
- e) *diagnostických výkonech v zubní radiodiagnostice,*

- f) standardních léčebných ozařovacích technikách v radioterapii a*
  - g) standardních diagnostických a léčebných výkonech v nukleární medicíně.*
- (3) Radiologický asistent dále může v souladu s postupy lékařského ozáření*
- a) na základě indikace a pod přímým vedením radiologického asistenta s příslušnou specializovanou nebo zvláštní odbornou způsobilostí vykonávat činnosti uvedené v § 160 až 163,*
  - b) na základě indikace a pod odborným dohledem lékaře aplikovat intravenózní léčiva nutná k provedení praktické části lékařského ozáření,*
  - c) na základě indikace lékaře a pod odborným dohledem lékaře, sestry pro nukleární medicínu nebo odborného radiologického asistenta pro nukleární medicínu aplikovat radiofarmaka,*
  - d) provádět činnosti na základě indikace a podle pokynů klinického radiologického fyzika se zvláštní odbornou způsobilostí pro radioterapii při plánování radioterapie,*
  - e) bez odborného dohledu na základě indikace lékaře aplikovat léčivé přípravky) nutné k provedení vyšetření trávicím traktem, dýchacími cestami, formou podkožních, kožních a nitrosvalových injekcí,*
  - f) bez odborného dohledu na základě indikace lékaře provádět léčebné a zobrazovací výkony v radiologii, které využívají jiné fyzikální principy než ionizující záření, a*
  - g) bez odborného dohledu na základě indikace lékaře zavádět periferní žilní katetry. “*
- (Vyhláška č. 55/2011 Sb.)*

## **2.3 Nukleární medicína**

Nukleární medicína je samostatný lékařský obor, který se zabývá aplikací radiofarmak (otevřených zářičů, farmak značených radionuklidy) pro účely diagnostické a terapeutické. Zobrazuje lépe funkce orgánů, fyziologii, patologii a charakter tkání a jejich metabolismu, na rozdíl od radiodiagnostiky, která zobrazuje anatomické struktury (Koranda et al., 2017).

### **2.3.1 Pracoviště nukleární medicíny**

Jelikož se na pracovišti nukleární medicíny pracuje s otevřenými zářiči, musí být kladen důraz nikoli jen na vybavení a úpravu pracoviště, ale i na zvláštní požadavky na organizaci provozu. Každý pracovník by měl dodržovat veškerá předepsaná opatření a měl by se chovat zodpovědně. Z hlediska ochrany a bezpečnosti práce a z důvodů provozních dělíme oddělení nukleární medicíny na část aktivní a neaktivní (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

**Aktivní část** je určena k veškerým pracím s radioaktivními zářiči, a to nejen v diagnostice a terapii pacientů, ale i při jakémkoliv dalším zacházení s těmito zářiči. Měla by být seřazena dle spádu aktivity (od prostorů s nevyššími aktivitami radiofarmak po prostory s nejnižšími aktivitami). Spadá sem úsek radiofarmak, úsek pro radionuklidové metody in vitro, úsek pro radionuklidové metody in vivo, lůžkový úsek a vymírací box. Příjem, přípravu, skladování, předaplikační úpravu, měření aktivity a likvidaci radioaktivního odpadu má na starost úsek radiofarmak. Zde se také pracuje s největšími aktivitami. Nejnižší aktivity se nacházejí v úseku pro radionuklidové metody in vitro, kde se zpravidla nachází laboratoř pro měření a vyhodnocování vzorků. Aplikaci radiofarmak a samotná vyšetření provádí úsek pro radionuklidové metody in vivo. Lůžkový úsek je využíván k hospitalizaci pacientů při terapii otevřenými zářiči. Vymírací box je oddělený prostor, kam jsou umísťovány nepotřebné zbytky radioaktivních látek a kontaminované materiály určené k vyzáření a likvidaci. Po vyzáření je spotřební materiál likvidován jako neradioaktivní (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

Do **neaktivní části** řadíme denní místnosti laborantů, kanceláře, pracovny vrchní sestry nebo laboranta a další provozní místnosti. Mezi oběma částmi je umístěn ochranný hygienický prostor (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

### 2.3.2 Radionuklidy

V současné době je známo okolo 2000 radioaktivních izotopů chemických prvků. Dělí se na přirozené a umělé. V nukleární medicíně se používají pouze umělé radionuklidy. Vhodné radionuklidy jsou ty, které jsou cenově a výrobně dostupné. Jejich fyzikálními charakteristikami je energie emitovaného záření (eV, keV, MeV), druh emitovaného záření ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) a poločas rozpadu  $T_{1/2}$  (s, min, h, d, r). Dále se dělí podle využití na diagnostické a terapeutické. Jejich rozklad je sledováno speciálními přístroji (PET, gama kamera). Příklady nejčastěji používaných radionuklidů jsou uvedeny v Tabulce 1 (Doležal, 2021).

**Poločas rozpadu  $T_{1/2}$**  je doba, za kterou se rozpadne přesně polovina atomů daného vzorku. Tento čas je u různých prvků odlišný (Doležal, 2021).

**Jaderná energie** je energie, která je založená na vazebných silách atomového jádra. Jadernou energii lze uvolnit buď štěpením těžkých jader, nebo slučováním (fúzí) velmi lehkých jader (Kupka et al., 2015).

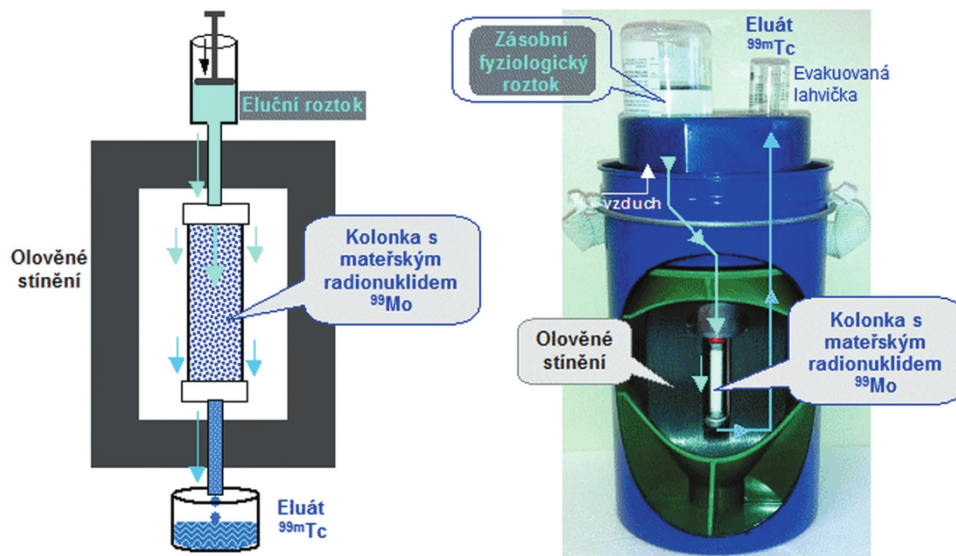
**Tabulka 1** – Příklady radionuklidů (Doležal, 2021)

Radionuklid	Poločas rozpadu ( $T_{1/2}$ )	Ionizující záření	Částice – E ionizujícího záření
$^{57}\text{Co}$	$T_{1/2} = 272$ dnů	EZ, $\gamma$	$\gamma - 122$ keV
$^{51}\text{Cr}$	$T_{1/2} = 27,7$ dnů	EZ, $\gamma$	$\gamma - 320$ keV
$^{18}\text{F}$	$T_{1/2} = 110$ minut	$\beta^+$	pozitrony – 0,635 MeV
$^{67}\text{Ga}$	$T_{1/2} = 78$ hodin	EZ, $\gamma$	$\gamma - 91, 185, 300, 394$ keV
$^{123}\text{I}$	$T_{1/2} = 13$ hodin	EZ, $\gamma$	$\gamma - 157$ keV
$^{125}\text{I}$	$T_{1/2} = 60$ dnů	EZ, $\gamma$	$\gamma - 35$ keV
$^{131}\text{I}$	$T_{1/2} = 8$ dnů	$\beta^-$	$\beta - 606$ keV, $\gamma - 80, 284, 364$ keV
$^{111}\text{In}$	$T_{1/2} = 2,8$ dne	EZ, $\gamma$	$\gamma - 171$ a $245$ keV
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$T_{1/2} = 6$ hodin	IP, $\gamma$	$\gamma - 140$ keV
$^{201}\text{Tl}$	$T_{1/2} = 73$ hodin	EZ, $\gamma$	$\gamma - 78$ a $167$ keV

### 2.3.2.1 Vznik a výroba radionuklidů

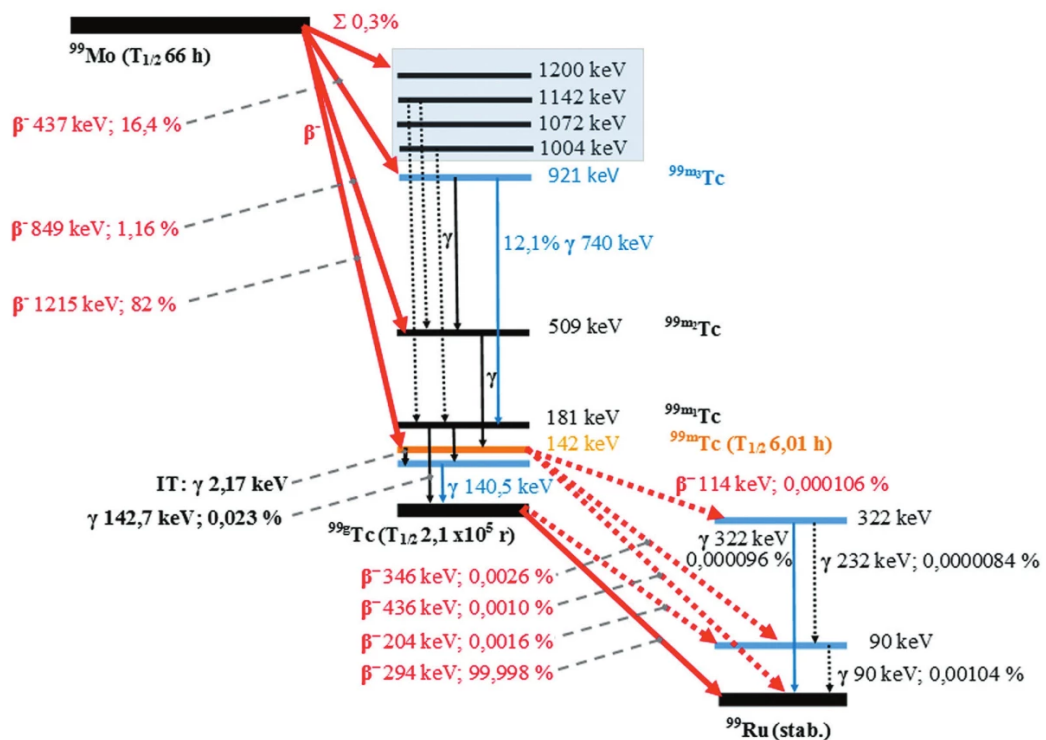
Radionuklidy se dělí na přírodní a umělé. Přírodní se dělí na primární (původní, fosilní), druhotné (rozpadové produkty primárních radionuklidů) a kosmogenní radionuklidy, které průběžně vznikají jadernými reakcemi při interakci kosmického záření se stabilními prvky. Umělé radionuklidy se vyrábí v jaderných reaktorech, urychlovačích nebo v radionuklidových generátorech (Ullmann, 2009).

**Radionuklidový generátor** je jednoduché zařízení obsahující vhodný mateřský radionuklid, jenž se rozpadá na krátkodobý radionuklid používaný k přípravě radiofarmak. Výhodou generátoru je relativně nízká cena oproti urychlovačům a reaktorům, malý rozměr, snadná manipulace, dostupnost, různé skupenství radionuklidů a snadné zjištění aktivity. Nevýhodou je nutnost stálého stínění a snižující se aktivita mateřského radionuklidu. Generátor se skládá z kolony, na níž je upevněn mateřský nuklid. Dceřiný nuklid se uvolňuje do promývacího roztoku. Kolona je dostatečně stíněna, stejně jako lahvička, ve které je radiofarmakum připravováno. Jedním z nejpoužívanějších radionuklidů v nukleární medicíně je technecium- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Je vyráběno v  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  (**molybden-techneciovém generátoru**), viz. Obrázek 1 (Doležal, 2021; Ullmann, 2009).



Obrázek 1 – Schéma nejběžněji používaného  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  generátoru (Vlk et al., 2020)

V olovem stíněné koloně se nachází  $^{99}\text{Mo}$  ( $T_{1/2} = 66$  h), který se vyrábí uměle v urychlovačích. Jeho poločas rozpadu je zhruba 2,5 dne, proto je na každém generátoru vyznačena aktivita vztažená k určitému datu. Molybden se přeměňuje  $\beta^-$  rozpadem na  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $T_{1/2} = 6$  h) s energií 140 keV. Tento stav se nazývá metastabilní (proto se zapisuje jako m) a vyjadřuje krátkou životnost radioizotopu. Po oddělení  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  z generátoru vznikne zářič, který emituje fotony  $\gamma$  o výše uvedené energii 140 keV, které se dají detekovat scintilačními technikami. Obrázek 2 zobrazuje, jaké energie uvolňuje  $^{99}\text{Mo}$  při svých přeměnách (Vlk et al., 2020).



Obrázek 2 – Přeměnové schéma  $^{99}\text{Mo}$  (Vlk et al., 2020)

### 2.3.3 Radiofarmaka

Radiofarmakum je jakýkoliv léčivý přípravek, jenž obsahuje jeden či více radionuklidů včleněných pro lékařské účely. Pro diagnostické účely se využívají  $\gamma$  zářiče s krátkým poločasem přeměny (aby vznikl kvalitní obraz, ale byla nižší radiační zátěž), v terapii se naopak používají zářiče  $\beta$ , aby se dosáhlo co největšího radiačního účinku. Radiofarmakum může být tvořeno samotným radionuklidem (např.  $^{131}\text{I}$  jako jodid sodný,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  jako pertechnetát), nebo jím může být označena jiná sloučenina. Ta se potom skládá z kitu (nosiče) a radionuklidu (signální části). Kit je vazebná či cílová část (farmakum, chemická sloučenina). V těle se naváže na buněčné nebo tkáňové struktury a následně je vylučováno různými cestami – např. močí, potem. Radionuklid je navázán na nosič a signalizuje jeho polohu a množství v určitém místě. Díky těmto vlastnostem se mohou látky, které jsou značeny radionuklidy, neinvazivně sledovat pomocí přístrojů s detekcí ionizujícího záření (Seidl et al., 2012).

Radiofarmaka se dělí dle podání na:

- parenterální (injekční) přípravky – intravenózní, subkutánní,
- perorální – roztoky, koloidy, emulze, tuhé látky,
- inhalační – ve formě plynů,
- aplikace do kloubu – injekční koloidy (Komárek, 2006).

#### 2.3.3.1 Hodnocení jakosti radiofarmak

Na radiofarmaka jsou kladeny stejné požadavky, jako na jiná léčiva. Musí se kontrolovat obecně platnými postupy jak pro injekční lékové formy, tak metodami hodnocení vlastností vycházející z obsahu radioaktivních látek (Kraft et al., 2012).

Hodnotí se podle fyzikálních a chemických hodnocení jakosti a podle biologických metod hodnocení radiofarmak (Kraft et al., 2012).

Fyzikální a chemické metody hodnocení jakosti:

- stanovení aktivity,
- radiochemická čistota,
- radionuklidová čistota (Kraft et al., 2012).

Biologické metody hodnocení radiofarmak:

- pyrogenní látky,
- sterilita (Kraft et al., 2012).

### 2.3.4 Druhy radioaktivních přeměn

Rozlišují se tři základní typy radioaktivních přeměn:

- přeměna  $\alpha$  (alfa),
- přeměna  $\beta$  (beta),
- přeměna  $\gamma$  (gama) (Koranda et al., 2017).

**Přeměna  $\alpha$**  se vyskytuje jen u radioaktivních izotopů prvků s protonovým číslem  $Z$  větším než 82. Jsou při ní emitovány kladně nabitě částice  $\alpha$  (jádra  ${}^4_2\text{He}$ , které se skládají ze dvou protonů a 2 neutronů) (Doležal, 2021; Koranda et al., 2017).

Částice  $\alpha$  se vyznačují vysokou specifickou lineární ionizací (úbytek energie nabitě částice způsobený ionizací na jednotkové dráze) a silnými ionizačními účinky (při průletu látkou působí velkou elektrickou silou na elektrony, které velmi účinně vyráží z atomových obalů). Mají vysokou kinetickou energii ( $E_k$ ), ale nízký dolet v tkáních, do velikosti 0,1 mm. Využívají se jako analgetická látka u metastáz při karcinomu prostaty. Záření  $\alpha$  má malou pronikavost a lze jej snadno odstínit. Ke stínění stačí slabá vrstva papíru, vzduchu, kůže (vnější ozáření člověka není nebezpečné). Při vnitřní kontaminaci ale dochází ke značnému radiačnímu poškození (Doležal, 2021; Koranda et al., 2017; Ullmann, 2009).

**Přeměna  $\beta$**  se rozlišuje na:

- přeměnu  $\beta^-$  (doprovázena emisí elektronů),
- přeměnu  $\beta^+$  (doprovázena emisí pozitronů),
- elektronový záchyt (doprovázený charakteristickým rentgenovým zářením) (Koranda et al., 2017).

Částice  $\beta$  je lehce nabitá částice s obdobnou interakcí, jako má záření  $\alpha$  a se značným rozptylem elektronů. Ty se využívají při radioterapii, pozitrony se využívají u pozitronové emisní tomografie (PET). Ke stínění  $\beta$  záření stačí vrstvy materiálu silné řádově v mm. Dochází zde ale k buzení brzdného záření, a to tím více, čím vyšší je  $Z$  stínící vrstvy, proto se využívají lehké materiály (plast, plexisklo). Pro odstínění brzdného záření se používá těžký materiál (olovo). Ke stínění  $\beta^+$  záření musí být přídavná vrstva těžkého materiálu dostatečně silná, aby odstínila i anihilační fotony (Doležal, 2021; Koranda et al., 2017; Ullmann, 2009).

Přeměny  $\beta$  bývají často doprovázené i **emisí  $\gamma$  záření** (směsné  $\beta$ - $\gamma$  zářiče). Když jádro vyzáří  $\beta$  částici, může být nové jádro v excitovaném stavu. Do nižšího energetického stavu přejde vyzářením fotonu  $\gamma$  záření. Tohoto záření se využívá v nukleární medicíně při scintigrafii. Foton

sám neionizuje ani neexcituje, jedná se o nepřímo ionizující záření. Podle energie se  $\gamma$  záření rozděluje na 3 části:

- fotoelektrický jev (do 150 keV),
- Comptonův efekt (150–500 keV),
- tvorbu elektron-pozitronového páru (0,5–5 MeV) (Doležal, 2021; Koranda et al., 2017; Ullmann, 2009).

Při **fotoelektrickém jevu** jsou elektrony uvolňovány z látky v důsledku pohlcování elektromagnetického záření látkou. Foton se střetne s elektronem, předá mu veškerou energii a sám zanikne. Předaná energie je tak velká, aby se uvolnil ze své vazby v obalu, a navíc získá  $E_k$  (Doležal, 2021).

**Comptonův efekt** je fyzikální jev, během kterého se při srážce elektromagnetického záření s atomy pevné látky mění vlnová délka záření v důsledku předání své energie atomu nebo jeho elektronu. Foton odevzdá část své energie a letí dál s větší vlnovou délkou odchýlen o rozptylový úhel. Nejvyšší energii získá elektron při rozptylu o  $180^\circ$  a děj se může několikrát opakovat (Doležal, 2021).

**Tvorba elektron-pozitronového páru** ukazuje na tvorbu páru částice-antičástice. Dochází k ní při interakci vysokoenergetického  $\gamma$  záření s elektronovým obalem atomu. Při průletu kolem jádra může foton interagovat s jeho elektrickým polem a přeměnit se na pár elektron – pozitron (Doležal, 2021).

### 2.3.5 Základní přístrojová technika v nukleární medicíně

Na pracovištích nukleární medicíny se používají přístroje, které jsou schopny zaznamenat  $\gamma$  záření emitované z těla vyšetřovaného pacienta. Díky těmto zařízením je možné získat výsledky.

$\gamma$  **kamera** je obdélníkový nebo kruhový stacionární přístroj. Využívá se k detekci záření  $\gamma$  a jeho následnému zviditelnění. Skládá se ze scintilačního detektoru (obsahuje scintilační krystal, fotonásobiče, světlovodiče a kolimátor), vyhodnocovacího a záznamového zařízení. Umožňuje snímat záření vycházející z velké plochy pacienta při statických, ale i dynamických dějích. Scintilační  $\gamma$  kamery mají více typů: planární, rotační, 1hlavá, 2hlavá a hybridní (SPECT/CT) (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

Lze provádět různé typy vyšetření:

- planární skeny z různých projekcí – 2D distribuce radiofarmak,



- dynamické scintigrafie – 2D záznam distribuce radiofarmaka,
- celotělovou scintigrafii – sběr dat řízen EKG v celém těle,
- gated scintigrafii (SPECT) – 3D rekonstrukce a řezy v libovolných rovinách (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

**Kolimátor** je clona ze stínícího materiálu (olovo, wolfram), která definuje směr fotonů, které dopadají na scintilační krystal, a také zorné pole kamery. Je to deska, ve které je velký počet otvorů, jež jsou hustě a rovnoměrně rozmístěny (výjimkou jsou kolimátory pinhole, které mají pouze jeden otvor). Mají určitý tvar, velikost a směr letu fotonů. Kolimátorem procházejí pouze fotony letící ve směru os otvorů kolimátoru. Zbývající fotony jsou absorbovány v olověných přepážkách (septech) mezi otvory – na krystal nedopadají a nejsou detekovány. Kolimátory u scintilačních kamer se dají měnit (v závislosti na vyšetření se používají různé kolimátory) (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

Kolimátory dělíme podle seskupení otvorů na:

- paralelní – nejčastěji používané, obraz objektu má stejnou velikost jako zobrazovaný objekt nezávisle na vzdálenosti objektu od kolimátoru,
- konvergentní – otvory se sbíhají do určitého bodu (ohniska), umožňují zvětšení obrazu promítnutého na krystal, používají se pro zobrazení malých orgánů (mozek),
- divergentní – otvory se rozbíhají do určitého bodu (ohniska), umožňují zmenšení obrazu promítnutého na krystal, používají se pro zobrazení velkých orgánů (plíce),
- pinhole – jednoděrový kolimátor, malá detekční účinnost, ale vysoké rozlišení, velikost obrazu silně závisí vzdálenosti zobrazovaného objektu od otvoru kolimátoru, pokud je vzdálenost zobrazovaného předmětu od otvoru menší než vzdálenost otvoru od krystalu kamery, poskytuje pinhole zvětšený a převrácený obraz (štítná žláza) (Doležal, 2021).

Kolimátory se dělí podle energie záření  $\gamma$  na kolimátory:

- pro vysoké energie – mají robustní konstrukci a dostatečně silné přepážky mezi otvory, aby byla zabezpečena dostatečná absorpce záření  $\gamma$  přicházejícího z různých směrů (aby nedocházelo k prozařování přepážkami),
- pro střední energie – nejčastěji používané při scintigrafii s  $^{131}\text{I}$  (364 keV), podobné schéma jako u kolimátoru pro vysoké energie,

- pro nízké energie – nejčastěji používané při scintigrafii s  $^{99m}\text{Tc}$  (140 keV), mají drobné konstrukce s velkým počtem drobných otvorů, mezi nimiž jsou tenké přepážky (Doležal, 2021).

Kolimátory pro nízké energie dělíme podle rozlišení a citlivosti na kolimátory:

- s vysokou senzitivitou – mají vysokou účinnost, krátké a větší otvory,
- s vysokým rozlišením – mají delší a drobnější otvory,
- s ultra vysokým rozlišením – mají dlouhé a velmi drobné otvory (Doležal, 2021).

**PET (pozitronová emisní tomografie)** je nejmodernější, nejsložitější a nejnákladnější zobrazovací modalita v nukleární medicíně. Umožňuje trojrozměrné zobrazení distribuce radiofarmaka v těle pacienta. Používá se především v kardiologii, neurologii a onkologii (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

PET má různé druhy:

- PET – pozitronová emisní tomografie,
- SPECT – jednofotonová emisní tomografie,
- hybridní PET/CT – kombinace PET a CT (počítačová tomografie),
- hybridní PET/CT/MR – kombinace PET, CT a MR (magnetická rezonance),
- hybridní SPECT/CT – kombinace SPECT a CT (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

Gantry PET kamery je nepohyblivé a také nemá žádné kolimátory, využívá se zde elektronická kolimace. Registruje anihilační záření z radiofarmaka dvěma proti sobě postavenými detektory. Snímání pacienta probíhá najednou v celém rozsahu  $360^\circ$  v zorném poli prstence obklopujícího pacienta a detekujícího jednotlivé anihilační fotony. Skládá se z vysokého počtu scintilačních krystalů, které jsou vzhledem k vysoké energii anihilačních fotonů složeny z látek s vyšší hustotou, než má NaI(Tl) (jodid sodný aktivovaný thaliem) používaný pro snímání jednofotonových zářičů. Využívá detekce dvojice fotonů anihilačního záření  $\gamma$  (o energii 511 keV), vznikajících při anihilaci pozitronů  $\beta^+$  s elektronem ve tkáni a vylétávajících z místa vzniku v protilehlých směrech (pod úhlem  $180^\circ$ ). Této detekce je využito při kolimaci záření  $\gamma$  a k následné rekonstrukci tomografických obrazů (Doležal, 2021; Nezdařilová 2017).

Fotony  $\gamma$  vzniklé při anihilaci elektronu a pozitronu mají význačné vlastnosti:

- vylétají z místa anihilace současně a v protisměru – pod úhlem  $180^\circ$ ,
- pohybující se po přímkových dráhách rychlostí světla – v laboratorních podmínkách mohou být detekovány prakticky současně (Doležal, 2021).

K detekci záření v nukleární medicíně se používají speciální přístroje, například ionizační komora, Geiger-Müllerův detektor nebo scintilační detektor.

**Ionizační komora** se skládá z elektrodového systému (obsahuje 2 elektrody – anodu a katodu, které jsou umístěny v nevodivém plynném prostředí). Tento detektor funguje na principu ionizace plynu. Za normálních okolností (bez přítomnosti ionizujícího záření) systémem neprochází žádný proud, plyn mezi elektrodami je nevodivý, obvod není uzavřen. Vnikne-li do prostoru mezi elektrodami ionizující záření, vyrazí z původně neutrálních atomů plynu elektrony a mění je na kladné ionty. Záporné elektrony putují ke kladné anodě, kladné ionty ke kladné katodě a obvodem tak začne protékat slabý elektrický proud, který je přímo úměrný intenzitě ionizujícího záření a který můžeme detekovat (Doležal, 2021).

**Geiger-Müllerův detektor** je také založen na principu ionizace plynu. Geigerova trubice je naplněna nevodivým plynem. Na jednom konci je v ose trubice izolovaně upevněna drátová elektroda spojená se zdrojem vysokého napětí. Na druhém konci trubice je vstupní okénko. Trubice je obvykle vyplněna héliem, neonem nebo argonem, sloužících jako zhašedlo. To ukončuje vzniklý náboj a zabraňuje vzniku stálého proudu, který by znemožnil další měření a mohl by poškodit elektrody nebo plynovou výplň (Doležal, 2021).

**Scintilační detektor** se skládá ze tří částí: scintilační krystal, fotonásobič a elektronická aparatura včetně počítače. Nejčastější detekční látka v krystalu je NaI(Tl). Při interakci fotonového ionizujícího záření se scintilačním krystalem dochází ke vzniku scintilací (záblesků) viditelného světla. Na krystal je fotovodivě připojen fotonásobič, který zajišťuje detekci světla z krystalu a jeho převod na elektrický signál. Světlo, které dopadá na fotonásobič uvolňuje elektrony, které se v systému dynod s vysokým napětím znásobí až milionkrát. To má za následek dobře měřitelný elektrický impulz (Doležal, 2021).

### 2.3.6 Veličiny a jednotky v nukleární medicíně

**Aktivita A** je veličina, která udává počet samovolných jaderných přeměn za jednotku času, většinou za sekundu. Jednotkou aktivity je becquerel (Bq). V nukleární medicíně častěji používáme dekadické násobky:  $1 \text{ kBq} = 10^3 \text{ Bq}$ ,  $1 \text{ MBq} = 10^6 \text{ Bq}$ ,  $1 \text{ GBq} = 10^9 \text{ Bq}$ . (Kupka, 2015)

**Absorbovaná dávka D** je fyzikální veličina označující množství záření absorbované v tkáni po podání radioaktivní látky. Její jednotkou je gray ( $\text{Gy} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Rozlišujeme dávky ekvivalentní a efektivní (Mornstein, 2021).

**Dávkový příkon** vyjadřuje poměr přírůstku dávky za jednotku času. Jednotkou je  $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ , často se dávkový příkon vyjadřuje v  $\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ , nebo v  $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$  (Mornstein, 2021).

### 2.3.7 Veličiny biologických účinků ionizujícího záření

**Dávkový ekvivalent H**, pro který platí vztah  $H = D \cdot Q$

- D je dávka v uvažovaném bodě tkáně, Q je jakostní činitel, vyjadřující biologickou účinnost různých druhů záření. Jednotka Sv (sievert) (Mornstein, 2021).

**Ekvivalentní dávka  $H_T$**  je součin radiačního váhového faktoru  $w_R$  (Tabulka 2) a střední absorbované dávky  $D_{T,R}$  v orgánu nebo tkáni pro ionizující záření. Jednotkou ekvivalentní dávky je sievert (Sv) (Klener et al., 2009).

**Tabulka 2** – Doporučené radiační váhové faktory dle ICRP 103 (Klener et al., 2009, s. 57)

Typ záření	Radiační váhový faktor $w_R$
fotony	1
elektrony	1
protony	2
částice alfa, těžké ionty	20
neutrony	spojitá závislost na energii neutronů

**Efektivní dávka E** je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech vážených tkáňovým váhovým faktorem  $w_T$ , který vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (Tabulka 3) (Klener et al., 2009).

**Tabulka 3** – Doporučené tkáňové váhové faktory dle ICRP 103 (Klener et al., 2009, s. 58)

Tkáň	$w_T$	$\Sigma w_T$
kostní dřev (červená), tlusté střevo, plíce, žaludek, mléčná žláza, zbytek tkání <sup>1</sup>	0,12	0,72
gonády	0,08	0,08
močový měchýř, jícen, játra, štítná žláza	0,04	0,16
povrch kostí, mozek, slinné žlázy, kůže	0,01	0,04
celkem		1

## 2.4 Radiační ochrana

Aby se omezilo ozáření osob ionizujícím zářením a zabránilo radioaktivní kontaminaci, využívá se systém organizačních a technických opatření. Tento systém se nazývá radiační

<sup>1</sup> zbytek tkání: nadledvinky, horní cesty dýchací, žlučník, srdce, ledviny, lymfatické uzliny, svalstvo, sliznice dutiny ústní, slinivka, prostata, tenké střevo, slezina, brzlík, děloha/hrdlo

ochrana. Cílem radiační ochrany je zamezení deterministických účinků a snížení výskytu stochastických účinků na rozumně dosažitelnou mez (Hušák et al., 2009).

**Deterministické účinky** jsou biologické účinky ionizujícího záření. Projevují se po překročení prahové dávky, která není u všech orgánů stejná (nad tímto prahem je intenzita účinku dávce úměrná). Náchylnost buněk k poškození zářením popisuje pojem radiosenzitivita. Tyto účinky jsou prahové, jisté a nenáhodné (Hušák et al., 2009).

**Stochastické účinky** způsobují nádorová onemocnění, nebo dědičné genetické změny, pro které prahová dávka neexistuje, i když jejich riziko též progresivně stoupá s dávkou. Jsou bezprahové a nevíme s jistotou, že se po ozáření projeví, jelikož se projevují pouze s určitou pravděpodobností (Hušák et al., 2009).

Na každém pracovišti se zdrojem ionizujícího záření musí být zajištěn **soustavný dohled**. Tento dozor provádí osoby s přímou odpovědností a dohlížející osoby, které mají odbornou způsobilost, jež získají na základě zkoušky vykonané na SÚJB. (Hušák et al., 2009)

#### 2.4.1 Principy radiační ochrany

Radiační ochrana je založena na čtyřech principech: princip zdůvodnění, princip optimalizace, princip limitování a princip zabezpečení zdroje.

**Princip zdůvodnění** udává, že by měla mít každá činnost, která je spojena s použitím zdroje ionizujícího záření, větší přínos, než jsou možná rizika (Hušák et al., 2009).

**Princip optimalizace** znamená, že při vyšetřeních vedoucích k ozáření pacienta je nutné dodržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby bylo riziko škodlivých účinků optimálně nízké z hlediska technického i ekonomického. Využívá se princip ALARA („As Low As Reasonably Achievable“). To znamená, že dávka musí být tak nízká, jak je rozumně dosažitelné – snaha o snížení dávky na nejnížší možnou mez, ale aby byl obraz stále dostatečně kvalitní (Hušák et al., 2009).

**Princip limitů** udává limity, které nesmí být při ozáření osob překročeny. Nezapočítává se do něj ozáření z přírodních zdrojů. Pro zajištění dodržování limitů se používá ochrana časem, vzdáleností a stíněním (Hušák et al., 2009).

**Ochrana časem** souvisí s radiační zátěží, která roste s dobou, kdy se osoba nachází v blízkosti zdroje ionizujícího záření. Pobyt osob v blízkosti zdroje záření by měl být co nejkratší. Při rentgenové diagnostice by měly být zkracovány expoziční časy (Hušák et al., 2009).

**Ochrana vzdáleností** využívá skutečnosti, že dávka, respektive dávkový příkon záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření (Hušák et al., 2009).

**Ochrana stíněním** udává, že by měly být užity materiály, které ionizující záření odstíní. Důležité je, při rentgenovém snímku používat clony, které vedou k menšímu ozáření objektu a filtrují svazek záření. Dále se využívají např. olovené vesty a štíty. Ovladovny jsou chráněny vrstvou stínícího materiálu ve stěnách. Při skiaskopii je receptor dole nebo na straně lékaře. Při stanovení tloušťky stínící vrstvy se používá pojem polovrstva (zeslabí dávku na polovinu původní hodnoty) (Hušák et al., 2009).

**Princip zabezpečení zdroje** znamená, že každý zdroj ionizujícího záření musí být zabezpečen proti zneužití nebo zničení. Technický stav zdrojů záření nesmí být příčinou neplánované radiační zátěže, proto se u nich provádí přejímací zkoušky, zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti, které jsou realizovány v určitých intervalech (Hušák et al., 2009).

#### 2.4.2 Limity ozáření

Hodnoty ozáření, jejichž překročení není přípustné, se označují jako **základní limity**. Ty se dále dělí na limity obecné, limity pro radiační pracovníky a limity pro učně a studenty. **Odvozené limity** jsou vyjádřeny v přímo měřitelných veličinách a nejčastěji slouží k osobnímu monitorování. Prokazují, že nebyly překročeny limity základní. Za jeden kalendářní rok nesmí limit pro osobní dávkový ekvivalent  $H_p$  v hloubce 0,07 mm překročit 500 mSv, v hloubce 3 mm nesmí překročit 20 mSv a v hloubce 10 mm nesmí překročit také 20 mSv. **Obecné limity** platí pro všechna ozáření z radiačních činností, kromě ozáření profesních, lékařských a havarijních. Limitem pro jednotlivce z obyvatelstva za jeden kalendářní rok je pro součet efektivních dávek  $E$  hodnota 1 mSv, pro ekvivalentní dávku  $H_T$  na oční čočku 15 mSv a pro průměrnou ekvivalentní dávku  $H_T$  ozáření pro kůži a končetiny 50 mSv. **Limity pro radiační pracovníky** se vztahují pouze na profesní ozáření (ozáření při práci). Limitem pro součet efektivních dávek  $E$  za jeden kalendářní rok je 20 mSv (na povolení SÚJB až 50 mSv za kalendářní rok a 100 mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních let). Limitem pro ekvivalentní dávku  $H_T$  na oční čočku za jeden kalendářní rok je 50 mSv (a současně 100 mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních letech) a pro  $H_T$  ozáření pro kůži a končetiny 500 mSv. **Limity pro žáky a studenty** se vztahují na ozáření osob ve věku 16–18 let, v době specializované přípravy na výkon povolání. Limitem za jeden kalendářní rok je pro součet efektivních dávek  $E$  hodnota 6 mSv, pro ekvivalentní dávku  $H_T$  na oční čočku 15 mSv a pro průměrnou ekvivalentní dávku  $H_T$  ozáření pro kůži a končetiny 150 mSv (Vyhláška č. 422/2016 Sb.).

### 2.4.3 Kategorizace radiačních pracovníků

Zařazení radiačního pracovníka do kategorie A nebo B je zohledněno očekávaným ozářením za běžného provozu a potencionálním ozářením radiačního pracovníka. Do kategorie A spadá radiační pracovník, který by mohl obdržet efektivní dávku E vyšší než 6 mSv za kalendářní rok, ekvivalentní dávku  $H_T$  na oční čočku vyšší než 15 mSv a ekvivalentní dávku  $H_T$  vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro kůži a končetiny. Radiačním pracovníkem kategorie B je radiační pracovník, u kterého nejsou splněny podmínky zařazení do kategorie A (Vyhláška č. 422/2016 Sb.).

### 2.4.4 Kategorizace zdrojů ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření se dělí na zdroje nevýznamné, drobné, jednoduché, významné a velmi významné. **Nevýznamnými zdroji** ionizujícího záření jsou myšleny například staré televize, počítače, požární hlásiče. Mezi **drobné zdroje** se řadí laboratorní rentgeny, kostní denzitometry. **Jednoduchými zdroji** jsou například zubní rentgeny, kabinová zařízení, rentgenová zařízení používaná pro účely veterinární. **Významnými zdroji** jsou myšleny generátory záření určené k lékařskému ozáření, kromě kostního denzitometru a zubního RTG, zdroje ionizujícího záření určené k radioterapii nebo radiodiagnostice v humánní medicíně, urychlovače částic, zdroje ionizujícího záření určené k radioterapii protony, neutrony a jinými těžkými částicemi, zařízení obsahující uzavřené radionuklidové zářiče určené k radioterapii včetně brachyterapie, radionuklidové ozařovače pro ozáření potravin a surovin nebo jiné stacionární průmyslové ozařovače a mobilní defektoskopy s uzavřenými radionuklidovými zářiči. Jaderné reaktory se řadí mezi **velmi významné zdroje** ionizujícího záření. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

### 2.4.5 Kategorizace pracovišť se zdrojem ionizujícího záření

Pracoviště se zdrojem ionizujícího záření se dělí na pracoviště I., II., III. nebo IV. kategorie. Na pracovištích **I. kategorie** se nacházejí drobné zdroje ionizujícího záření, které nemusí být schváleny úřadem, například kostní denzitometr, veterinární nebo zubní rentgenové zařízení nebo rentgenové zařízení, které nespadá do kontrolovaného pásma. Na pracovištích **II. kategorie** se nachází jednoduché zdroje, které nejsou obsaženy v I. kategorii, například rentgenové zařízení určené k diagnostice nebo radioterapii, soudržný ozařovač krve s uzavřeným radionuklidovým zdrojem, mobilní ozařovač s uzavřeným radionuklidovým zdrojem nebo technické rentgenové zařízení. Do **III. kategorie** spadají urychlovače částic, zařízení, která obsahují uzavřený radionuklidový zářič nebo uznané sklady. Ve **IV. kategorii** se nacházejí jaderné elektrárny. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

## 2.4.6 Kontrolované a sledované pásmo

**Kontrolované pásmo** se vymezuje na pracovištích se zdrojem ionizujícího záření, kde lze předpokládat, že by efektivní dávka  $E$  mohla být vyšší než 6 mSv za jeden kalendářní rok nebo že by ekvivalentní dávka  $H_T$  mohla být vyšší než tři desetiny limitu pro radiačního pracovníka pro kůži anebo končetiny nebo 15 mSv pro oční čočku. Práci v kontrolovaném pásmu mohou vykonávat jen pracovníci kategorie A. Musí být vymezeno v rozsahu zahrnujícím všechna pracovní místa, kde nelze vyloučit, že průměrný příkon prostorového dávkového ekvivalentu na pracovním místě může být za kalendářní rok vyšší než 2,5  $\mu\text{Sv/h}$ . Na pracovišti se zdrojem ionizujícího záření, kde lze předpokládat, že by efektivní dávka  $E$  mohla být vyšší než 1 mSv za jeden kalendářní rok nebo by ekvivalentní  $H_T$  dávka mohla být vyšší než jedna desetina limitu ozáření pro radiačního pracovníka pro oční čočku, kůži a končetiny, je držitel povolení nebo registrant povinen vymežit **sledované pásmo**, dokumentovat jeho provoz a zajistit radiační ochranu fyzické osoby do něj vstupující. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

## 2.4.7 Monitorování ionizujícího záření

Monitorování ionizujícího záření se dělí na monitorování pracoviště a osobní monitorování. **Monitorování pracoviště** je prováděno ve formě měření neúčinného záření v rámci přijímací zkoušky a dále v případě změny stavební dispozice nebo jiné změny důležité z hlediska radiační ochrany. Zahrnuje měření ve vyšetřovně a měření přilehlých pobytových prostor (ovladovna, převlékací kabinky, čekárna, sousedící ordinace apod.). **Osobní monitorování** probíhá formou vyhodnocení osobních dozimetrů radiačních pracovníků kategorie A jednou měsíčně. Osobní monitorování radiačních pracovníků kategorie B je zajišťováno vybavením vybraných radiačních pracovníků vykonávajících stejnou pracovní činnost na stejném pracovišti osobním dozimetrem a přiřazením osobní dávky získané jeho vyhodnocením ostatním radiačním pracovníkům bez osobního dozimetru na tomto pracovišti. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

## 2.5 Mízní systém

Mízní systém (lymfatický systém) se skládá z mízních cév, mízních orgánů a tkání. Mízní orgány a tkáně se dělí na primární a sekundární:

- primární: brzlík, kostní dřeň,
- sekundární: mízní tkáně asociované se sliznicemi, mízní uzliny a slezina (Földi et Földi, 2014).



V těchto orgánech vznikají lymfocyty (buňky mízního systému), které se vyvíjí z kmenových buněk. Buňky mízního systému vznikají a zrají v primárních orgánech, sekundární orgány jsou již těmito buňkami osídleny. Lymfocyty se dělí podle funkce, původu a zralosti na:

- T-lymfocyty (zajišťují buněčnou imunitu), které vznikají v kostní dřeni, poté se přesouvají do brzlíku, kde dozrávají,
- B-lymfocyty (zajišťují látkovou imunitu), které vznikají v kostní dřeni a dozrávají v sekundárních orgánech (Hanzalová et Hemza, 2013).

Mízní systém se podílí na:

- obraně organismu jako součást imunitního systému,
- odvádění přebytečného tkáňového moku ze tkání ve formě mízy,
- napomáhání transportu lipidů z gastrointestinálního traktu do těla (Hanzalová et Hemza, 2013).

### 2.5.1 Míza a mízní cévy

**Míza** (lymfa) je produkována přechodem tkáňového moku přes stěnu mízní cévy. Za den je jí vyrobeno zhruba 1,5–2 litry. Je čirá, bezbarvá, ale v mízních cévách trávicího traktu je až mléčně zakalená (díky přítomnosti tuků). Do mízy přecházejí bílkoviny, steroidní hormony, tuky, vápník, vitamíny rozpustné v tucích (A, D, E, K), železo. Má obrannou a transportní funkci. Podílí se na imunitních reakcích organismu a zajišťuje transport vody a metabolitů z tkáňového moku do krve. Pohyb mízy je umožněn pomocí dýchacími pohyby, pohybů hladké svaloviny mízních cév, kontrakcí přilehlých svalů nebo střevní peristaltikou (Hanzalová et Hemza, 2013).

**Mízní cévy** jsou cévy, které slepě začínají ve tkáních, postupně se zvětšují, a nakonec se vlévají do velkých krevních žil. Nefungují jako okruh, vedou mízu jedním směrem – k srdci. Jsou tenkostěnné, ale jinak zde není velký rozdíl od krevních cév. Endotelová vrstva se nachází uvnitř, nad ní je tenká vrstva hladké svaloviny a na povrchu se nachází vazivová adventicie (zevní vrstva cévy). Velké mízní cévy obsahují chlopně, nejčastěji semilunární párové, které brání toku lymfy v protisměru (Čihák, 2016).

Podle histologické stavby dělíme systémy mízních cév na:

- mízní kapiláry,
- prekolektory (sbírají mízu z mízních kapilár a odvádějí ji do kolektorů),
- kolektory – sběrné mízní cévy,

- mízní kmeny (Földi et Földi, 2014).

Topograficky dělíme mízní cévy na:

- povrchový systém (odvádí mízu z kůží a podkoží),
- hluboký systém (odvádí mízu z kloubů, nervů, svalů a šlachových pochev) (Földi et Földi, 2014).

### 2.5.2 Mízní orgány

Mízní orgány rozdělujeme na primární a sekundární. Mezi primární řadíme brzlík a kostní dřev. Mezi sekundární řadíme mízní tkáně asociované se sliznicemi, mízní uzliny a slezinu (Földi et Földi, 2014).

**Brzlík** (thymus) je nepárový orgán uložený těsně za hrudní kostí. Roste v dětském věku, maximální velikost má kolem puberty, v dospělosti postupně zaniká a ve stáří je zcela nahrazen tukovou tkání a vazivem. Skládá se z kůry a dřev. V brzlíku dozrávají T-lymfocyty (Hanzalová et Hemza, 2013).

Ve spongióze krátkých plochých kostí se nachází červená **kostní dřev** (medulla ossium rubra). Její funkcí je krvetvorba. Nacházejí se v ní kmenové buňky a mezistupně buněk erythropoézy (vývoje červených krevních buněk) a leukopoézy (vývoj bílých krevních buněk). Lymfocyty se řadí mezi bílé krevní buňky. V časném stádiu T-lymfocyty opouští červenou kostní dřev a putují do brzlíku. B-lymfocyty opouštějí dřev ve více vyvinutém stavu a dozrávají v sekundárních mízních orgánech (Tesařová, 2017).

**Mízními tkáněmi asociovanými se sliznicemi** jsou mízní tkáně, které hrají důležitou roli v imunitních reakcích respiračního a trávicího traktu. Řadí se sem například tkáně v oblasti Waldeyerova hltanového okruhu (patrová mandle, jazyková mandle, hltanové mandle) nebo mízní tkáně v oblasti červovitého výběžku tlustého střeva. Mandle jsou důležité především pro novorozence, protože plní imunitní funkci (Földi et Földi, 2014).

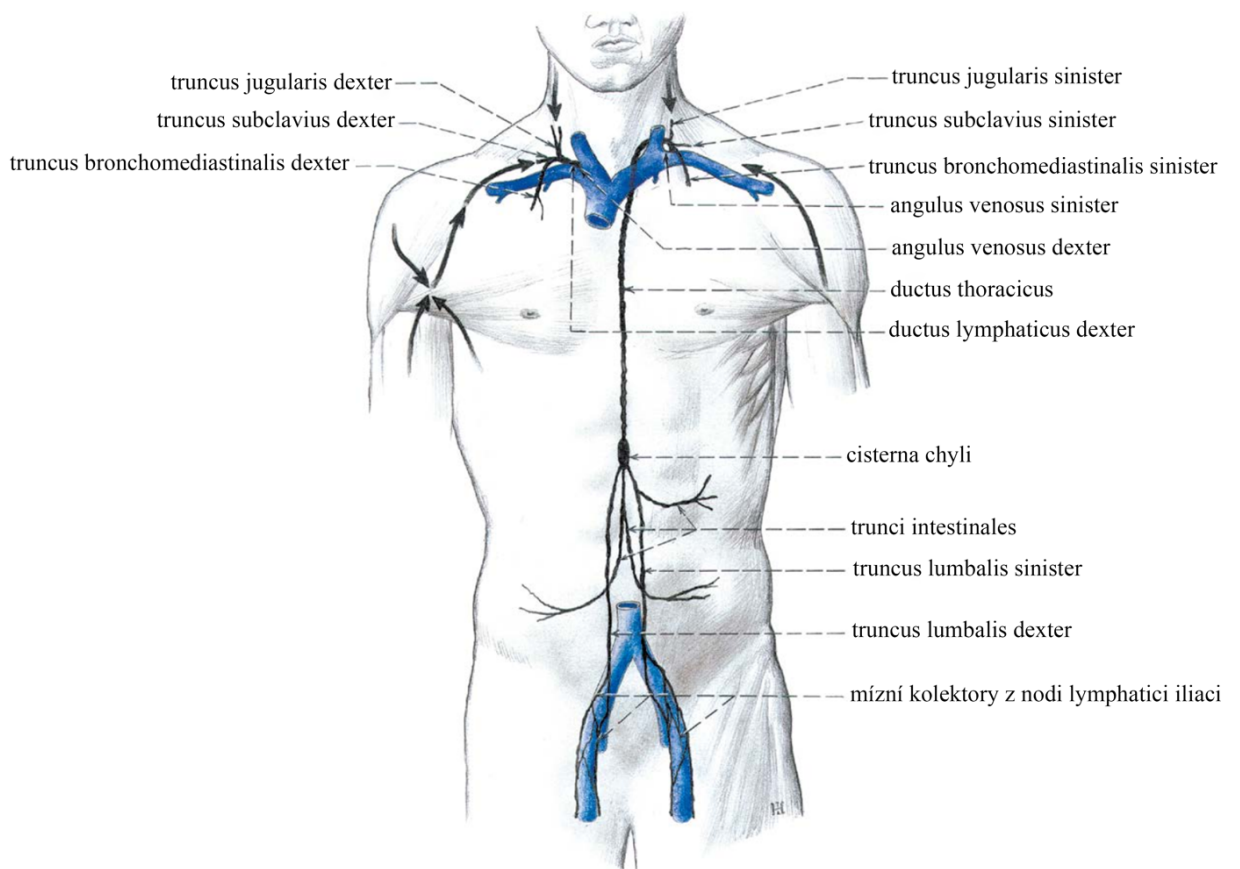
**Mízní uzliny** (nodus lymphaticus) jsou shluky mízních buněk, které se vyskytují v průběhu místních cév, takže přes ně projde veškerá míza. Mají fazolovitý, kulovitý nebo vejčitý tvar. Dosahují velikosti od 1 mm až do 3 cm. Podle uložení se dělí na hluboké a povrchové. Zdravé uzliny jsou šedé až bílé a pohmatově tuhé, při patologii bývají zvětšené. Na povrchu uzlin se nachází vazivové pouzdro, uvnitř trámce s mízní tkání. Jejich funkcí je filtrace mízy, kdy lymfocyty likvidují bakterie a další cizorodé látky (Tesařová, 2017).

**Slezina** (lien) se nachází v levém podžebří pod bránicí. Má úzký anatomický vztah k levé ledvině a často těsně naléhá na tlusté střevo. Má tvar kávového zrna a velikost do 10–14 cm. Cévy vstupují do sleziny v oblasti hilu (vstup pro cévy). Na povrchu sleziny se nachází vazivové pouzdro a uvnitř jsou trávce, které rozdělují dřev sleziny. Bílá dřev je tvořena mízní tkání a zajišťuje imunitní funkci. Červená dřev vyčytává a ničí poškozené červené krvinky. Slezina má spoustu funkcí. Řadíme mezi ně fagocytózu (ničení bakterií, plísni a virů), imunitní reakce, ničení červenýchrvinek, produkci červenýchrvinek, tvorbu lymfocytů a také funguje jako rezervoár krve (Čihák, 2016).

### 2.5.3 Hlavní mízní kmeny

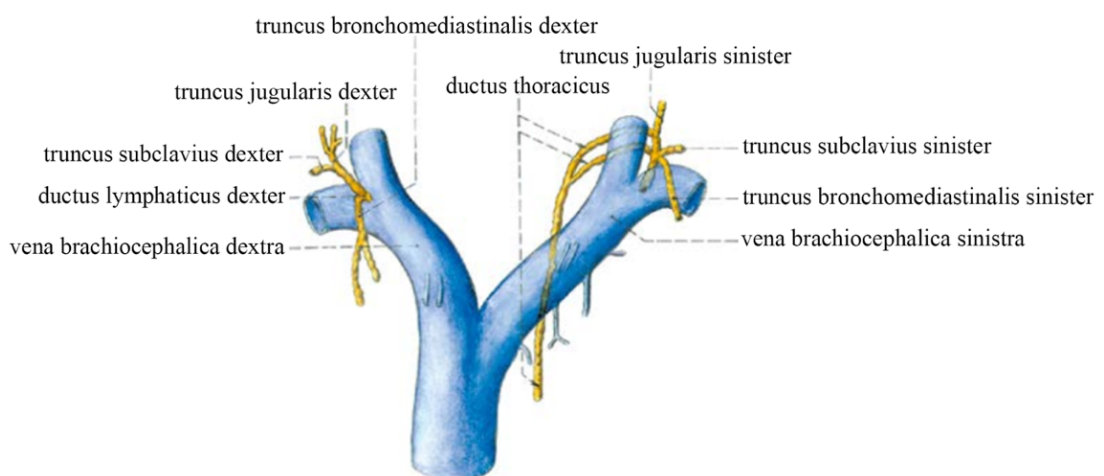
Funkcí hlavních mízních kmenů je sběr mízy z rozlehlých pásem těla a jejich převod do krevního systému. Rozeznáváme dva – ductus thoracicus a ductus lymphaticus dexter (Obrázek 3) (Čihák, 2016).

Sběr mízy z levé části těla (levé poloviny hlavy a krku, levé horní končetiny, stěn orgánů levé poloviny hrudníku, břicha a pánve) a obou dolních končetin zajišťuje hrudní mízovod, **ductus thoracicus**. Asi tři čtvrtiny mízy jsou sbírány tímto mízovodem. Skládá se z truncus lumbalis dexter et sinister (sbírají mízu z dolních končetin, pánve a stěn orgánů levé poloviny hrudníku) a trunci intersticinales. Hiatus aorticus je otvor v bránici, kterým prochází. V oblasti třetího hrudního obratle kopíruje levou stranu jícnu, pokračuje za levou podklíčkovou tepnou (arteria subclavia sinistra) a ústí do angulus venosus sinister (ten se nachází v místě soutoku levé vnitřní hrdeční žíly, vena jugularis interna sinistra, a levé podklíčkové žíly, vena subclavia sinistra). Vlévají se do něj, těsně před jeho vyústěním, mízní kmeny truncus jugularis sinister, truncus subclavius sinister a truncus bronchomediastinalis sinister (Čihák, 2016; Tesařová 2017).



**Obrázek 3** – Hlavní mizní kmeny (Čihák, 2016)

Mízu ze zbylé části těla (pravé poloviny hlavy a krku, pravé horní končetiny, stěn orgánů pravé poloviny hrudníku a části jater) sbírá **ductus lymphaticus dexter**. Je dlouhý asi 1 cm a ústí do angulus venosus dexter. Před vstupem do angulu (Obrázek 4) se do něj vlévá truncus jugularis dexter, truncus subclavius dexter a truncus brachiomediastinalis dexter (Čihák, 2016; Tesařová 2017).



**Obrázek 4** – Angulus dexter et sinister se vstupy hlavních mizních kmenů do žil (Čihák, 2016)

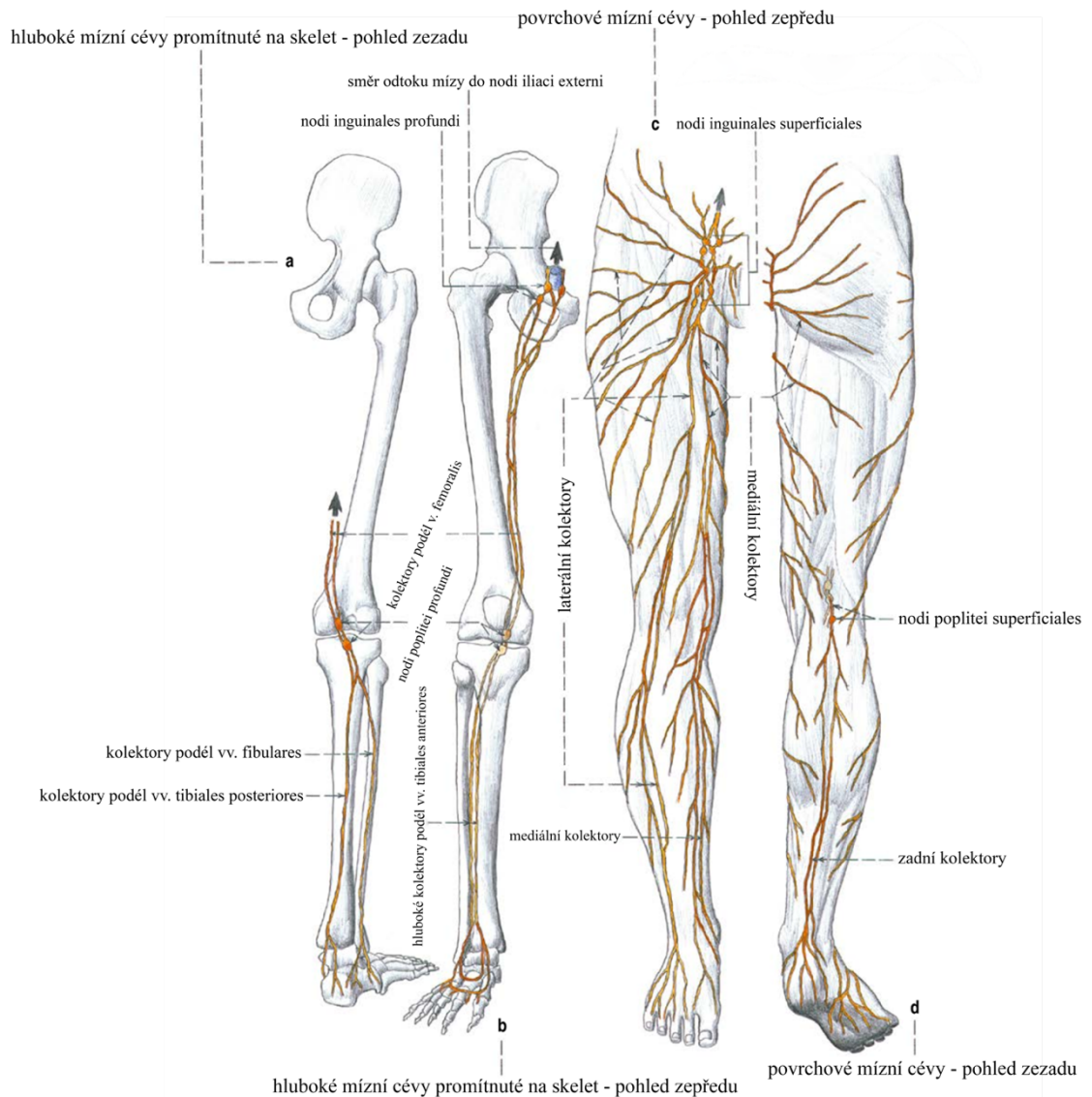
#### 2.5.4 Mízní cévy dolních končetin

Mízní cévy dolních končetin se rozdělují podle průběhu na povrchové a hluboké. V podkožním vazivu se nacházejí povrchové mízní cévy. Mimo podkoží, podél krevních cév, jsou mízní cévy hluboké. Jejich rozložení je znázorněno na Obrázku 5 (Čihák, 2016; Földi et Földi, 2014; Tesařová 2017).

**Povrchové mízní cévy dolních končetin** zajišťují sběr mízy z okostic kostí, které se nachází těsně pod kůží a z podkoží. Jejich průběh začíná spojením mízních sítí, směrem vzhůru pokračují přes bérce a stehno ve třech skupinách jako:

- mediální kolektory – 10–15 mízních cév, začínají v planta pedis a dorsum pedis, kopírují tok vény sapheny magna přes hiatus saphenus, kde vstupují do nodi lymphatici inguinales superficiales,
- laterální kolektory – 1–3 mízní cévy, začínají na dorsum pedis laterodistalis, jdou směrem vzhůru po laterální straně bérce, v oblasti kolene se směřují dopředu, spojují se s mediálními kolektory a společně vstupují do nodi lymphatici inguinales superficiales,
- zadní kolektory – začínají od paty a lateroproximální části dorsum pedis, pokračují přes dorsální stranu lýtky podél vena saphena parva do zadních kolenních uzlin, kde se slévají do hlubokých mízních cév (Čihák, 2016; Földi et Földi, 2014; Tesařová 2017).

**Hluboké mízní cévy dolních končetin** vedou mízu z kloubů, nervů a svalů. Kopírují trasy hlubokých krevních cév. Společně procházejí kolem artérie a vény femoralis a vstupují do hlubokých uzlin tříselných (Čihák, 2016; Földi et Földi, 2014; Tesařová 2017).



**Obrázek 5** – Mízní cévy a mízní uzliny dolní končetiny (Čihák, 2016)

### 2.5.5 Mízní uzliny dolních končetin

Mízní uzliny dolních končetin se dělí na tříselné mízní uzliny (nodi lymphatici inguinales) a zákolenní mízní uzliny (nodi lymphatici poplitei) (Čihák, 2016; Földi et Földi, 2014; Tesařová 2017).

**Tříselné mízní uzliny** se rozlišují podle hloubky na povrchové (nodi inguinales superficiales) a hluboké (nodi inguinales profundi). Povrchových tříselných mízních uzlin je 8–12 a nacházejí se na povázce v tříselné krajině. Rozdělují se na horní, střední a dolní skupinu, přičemž každá skupina sbírá mizu z určitých míst:

- horní skupina – z kůže a podkoží přední stěny břišní, u ženy z dělohy,
- střední skupina – z okolí glutea, anální oblasti, zevního genitálu, močové trubice, u ženy spodního úseku vagíny,

- dolní skupina – z celé dolní končetiny (kromě zadních kolektorů) (Čihák, 2016; Földi et Földi, 2014; Tesařová, 2017).

Hlubokých mizních uzlin je 2–5. Nachází se ve fossa iliopectinea. Největší mizní uzlina, která se zde nachází, se nazývá nodus Cloqueti. Tributárními oblastmi jsou všechny hluboké mizní cévy dolní končetiny. Konečným místem odtoku mízy těchto uzlin je cisterna chyli (Čihák, 2016; Földi et Földi, 2014; Tesařová 2017).

### 2.5.6 Onemocnění mizního systému

Při patologických stavech mohou být mizní cévy cestou pro infekce či nádorové buňky. Mezi onemocněním mizního systému se řadí například lymfangiom, lymfangitida či lymfedém (Földi et Földi, 2014; Povýšil et Šteiner, 2007).

**Lymfangiom** je nádorové onemocnění mizních cév. Stavbou se podobá hemangiomu, ale neobsahuje červené krvinky. Je nezhoubný a rozdělený na podtypy (cystický, kapilární, kavernózní). Nejčastěji se projevuje v dětském věku. Embryonální poruchy jsou častými prekuzory. Převážně se vyskytuje v kůži, podkoží a v orgánech dutiny břišní (Povýšil et Šteiner, 2007).

**Lymfangitida** je zánět mizních cév. Vzniká vstupem infekčních agens nebo škodlivých látek do mizního systému. Infekce se často šíří do regionálních mizních uzlin, které se vlévají do krevních žil. Přenosem vysokého počtu bakterií tak může nastat až sepse. Akutní zánět vzniká ze zanícené rány, chronický v důsledku tkáňových změn. Nejprve se projevuje pocitem napětí v oblasti dolních končetin, bolestí, horečkou, nebo zarudnutím (Národní zdravotnický informační portál, 2023; Povýšil et Šteiner, 2007).

### 2.5.7 Lymfedém

*„Lymfedém je chronický zánětlivý lymfostatický obraz vzniklý mechanickou insuficiencí systému lymfatických cév“* (Földi et Földi, 2014, 190 s.). V podstatě se jedná o absenci odtoku mízy, která se v poškozené oblasti hromadí a po delší době může vyvolat chronický zánět. Může se vyskytovat v kterékoliv části mizního systému, ale nejčastěji se nachází na dolních končetinách.

Přerušení odtoku mízy se dělí dle povahy na organické, funkční a na kombinaci organického a funkčního. Organické změny se objevují už v mezibuněčných prostorech a počátečních mizních cévách. U revmatické artritidy je překážkou sražený fibrin. V důsledku toho nemůže tkáňový mok přejít do mizní kapiláry a není tak míza vůbec tvořena. Dalším problémem může být

aplazie (absence) mizních kapilár. Mezi patologické změny organické a funkční povahy se řadí atrezie (nepřítomnost lumen), hyperplazie (nadměrně vyvinutý orgán složený z většího množství buněk, než je normální), hypoplazie (nevyvinutý orgán složený z menšího množství buněk, než je normální), lymfangitida, trombóza či následky zranění. Mezi funkční poruchy se řadí arytmie pulzací lymfangiomu, insuficience chlopní mizních cév, insuficience stěn mizních cév, křeč mizních cév (Földi et Földi, 2014; Národní zdravotnický informační portál, 2023; Tesařová 2017).

Lymfedém se dělí podle stádií:

- Stádium 0 – latence,
- Stádium I – reverzibilní,
- Stádium II – spontánně reverzibilní,
- Stádium III – elefantiáza (Národní zdravotnický informační portál, 2023; Tesařová 2017).

Ve **stádiu 0**, dochází k poruše odvodu tekutin ze tkání. Otok není hmatatelný ani viditelný. Ve funkční diagnostice je nález patrný (Národní zdravotnický informační portál, 2023; Tesařová, 2017).

Otok měkké konzistence, který vzniká po zátěži a v klidu mizí, pozorujeme v **I. stádiu**. Bývá doprovázen pocitem tlaku v postižené končetině (Národní zdravotnický informační portál, 2023; Tesařová, 2017).

Ve **II. stádiu** je edém tvrdý a trvalý, samovolně neustupuje (Národní zdravotnický informační portál, 2023; Tesařová, 2017).

Ve **III. stádiu** je napětí tak velké, že způsobuje bolest. Velký otok tvrdne, těžkne a dochází tak k omezení hybnosti kloubů a následnému zhoršení pohybu. To vše omezuje postiženého v každodenních činnostech (Národní zdravotnický informační portál, 2023; Tesařová, 2017).

Lymfedém se rozlišuje podle etiologické klasifikace na:

- primární,
- sekundární.

**Primární (vrozený) lymfedém** vzniká genetickými poruchami vývoje mizních cév či uzlin. Může se projevit ihned po narození, nebo se projevuje vlivem určitých změn, například hormonálními změnami, operací, ozářeními, těhotenstvím, nebo vysokou námahou. Vzniká



postupně od kotníků a stoupá vzhůru. Rozděluje se dle etiologie (Földi et Földi, 2014; Národní zdravotnický informační portál, 2023; Tesařová, 2017).

**Aplazie** je absence orgánu. Většinou chybí mizní kapiláry, mizní kolektory jsou přítomny. Pokud by měla chybět větší část mizních cév, je tento případ neslučitelný se životem (k úmrtí plodu dochází v děloze, pokud by však přežil, zemře těsně po porodu). Když se v dolních končetinách nenachází mizní kapiláry, vytvoří se edém (Földi et Földi, 2014; Tesařová, 2017).

**Hypoplazie** znamená menší počet a velikost (průměr) suprafaciálních mizních kolektorů. Primární lymfedém způsobuje také Ullrich-Turneovův syndrom, nejenom na dolních končetinách, ale i v oblasti hlavy a trupu. Typickými příznaky tohoto syndromu jsou anomálie uší a dásní, dysplazie nehtů, mikrognatie či šjiové vrásky. Poškozením osifikačních center vlivem poruchy odtoku mízy může způsobit i malformace skeletu. Dalším ze syndromů, které způsobují lymfedém, je syndrom Noonanové. Ten je velmi podobný přechozímu, jen nepoškozuje hypoplazií gonády. U syndromu žlutých nehtů se vyskytuje primární lymfedém společně s chronickými záněty vedlejších dutin nosních a defektem tkáňové imunity (Földi et Földi, 2014; Tesařová, 2017).

**Hyperplazie** je zvětšení orgánu (mizních cév). Poškozuje počáteční, ale i sběrné cévy mizního systému. Rozšířené mizní kapiláry byly pozorovány v pár případech Nonneova-Milroyova lymfedému. Hyperplazie mizních kolektorů se přirovnává ke křečovým žilám. Efektem lymfangiekiázií je nedostatečnost chlopní v mizních cévách, která vede k regurgitaci (zpětnému pohybu) mízy a tím k hůře léčenému lymfedému. Z tohoto důvodu je hyperplazie hůře léčitelná než hypoplazie (Földi et Földi, 2014; Tesařová, 2017).

**Lymfangiom** je přechod mezi orgánovou abnormalitou (dysplazie) a nezhoubným nádorem, často společně s primárním lymfedémem (Földi et Földi, 2014; Tesařová, 2017).

Příčina **fibrózy tříselných uzlin** není známa. Jedná se o přeměnu mizních uzlin v jizevnatou tkáň (Földi et Földi, 2014; Tesařová, 2017).

Primární lymfedémy se také klasifikují podle věku, kdy se objeví. Lymphoedema congenitum jsou vrozené, lymphoedema praecox se objevují do 35. roku života a lymphoedema tardum se objevují po 35. roce života (Földi et Földi, 2014).

Primární lymfedém se dá rozdělit také podle spouštěcích faktorů. Mezi ně spadá:

- banální poranění (posttraumatický primární lymfedém, důvodem je hypoplazie v dolních končetinám, po úrazu se poškodí zbylé mizní cévy,

- bodnutí hmyzem,
- erysipel – růže (oslabení imunitního systému může vést k rozvinutí primárního lymfedému),
- lékařské zákroky (stejně jako u banálních poranění),
- imobilizace (například při dlouhém letu, důvodem je pomalý transport mízy, nebo vysoký tlak v krevních kapilárách),
- syndrom cyklického idiopatického edému (může vést k manifestaci primárního lymfedému), žádný spouštěcí faktor (dysplazie v době porodu nebyla pozorována, náhle dojde se objeví primární lymfedém, příčina neznámá) (Földi et Földi, 2014).

Příčiny **sekundárního lymfedému** se mohou objevit kdykoliv, v jakémkoliv roce života. Nejedná se o onemocnění, která postihují hlavně osoby staršího věku. Rozdělují se dle etiologie (Tesařová 2017).

**Akutní lymfangitida a chronická obstrukční lymfangitida** (zánět mizních cév nebo uzlin) nezpůsobuje lymfedém, ale nedojde-li k úplnému zhojení a zůstane v postiženém místě lymfangiopatie, kvůli které klesá transportní kapacita, může se sekundární lymfedém objevit. Příčinami zánětu mohou být bakterie, dermatitidy, mykobakterie, mykózy, paraziti, revmatická artritida, nebo viry (Földi et Földi, 2014)

**Arteficiální lymfedém** si většinou člověk přivodí sám. Často vzniká při sebepoškození za účelem invalidního důchodu. Nejčastěji se zaškrcuje paže či stehno, čímž se omezí průtok nejenom mízy, ale i krve. To má za následek právě edém (krevní, mizní či kombinovaný) (Földi et Földi, 2014)

**Iatrogenní lymfedémy** jsou lymfedémy, které vznikly v důsledku nějakého lékařského zákroku. Způsobuje je nějaký léčebný postup. Rozdělujeme je do třech skupin:

- zákrok byl absolutně indikovaný (operativní léčba nádorů, ozařování, bypass),
- zákrok byl relativně indikovaný (operace křečových žil),
- lymfedém vznikl v důsledku chyby v léčbě (inguinální lymfadenektomie, která nebyla nutná) (Földi et Földi, 2014)

Při **syndromu vlasového turniketu** bývají u novorozenců zaškrceny genitálie nebo prsty lanugovými chlupy v plodové vodě. Následkem toho dochází ke krevní a mizní stagnaci (Földi et Földi, 2014; Tesařová 2017).

**Vrozený lymfedém** je ve většině případech přirozeného původu. Druhotná forma je vzácností. Jedna končetina je při porodu oteklá, protože byla obmotána a přiškrcena pupeční šňůrou. Dochází k poškození krevních i mízních cév, jedná se o kombinovanou formu lymfedému (Földi et Földi, 2014).

**Zhoubné nádory** mohou způsobovat blok v toku mízy a tím způsobit maligní lymfedém, buď zevnitř, vniknutím nádorových buněk do lumen cévy, nebo zevně růstem nádoru. Obě formy mohou nastat paralelně (Földi et Földi, 2014).

### **2.5.7.1 Diagnostika lymfedému**

Základním kamenem diagnostiky lymfedému je co nejpodrobnější anamnéza a vyšetření. Z **anamnézy** jsou důležité informace o operacích, ozařování, traumatech, dalších nemocích a informace o otoku samotném. U **klinického vyšetření** je potřeba si všimnout symptomů lymfedému (viz kapitola 2.5.7). Pomocí primární anamnézy (pohmat, pohled) může lékař poznat stádium lymfedému. Dále se dělají laboratorní testy (hodnota glykémie, jaterní testy, kreatinin, krevní obraz, močovina, sedimentace). Jako první musí lékař určit, zda se opravdu jedná o edém, pak zjistit, čím je způsobený. Lymfedém dolních končetin je v asi 70 % asymetrický (postihuje jen jednu končetinu). Barva kůže bývá nezměněná. Popisují se kladná či negativní Kaposi-Stemmerova znamení (nemožnost utvořit kožní řasu na druhém prstu nohy), která bývají pozitivní u primárního lymfedému. Lymfedém bývá často spojován s maligním onemocněním, proto je důležité myslet i na tuto okolnost. Další možností klinického vyšetření je třeba magnetická rezonance (MR), počítačová tomografie (CT), radionuklidové zobrazení mízního systému (lymfoscintigrafie), nebo ultrasonografické vyšetření (USG) (Klauzová, 2010; Tesařová, 2017).

### **2.5.7.2 Léčba lymfedému**

Léčba lymfedému je velmi složitá. Lymfedém se nedá úplně vyléčit. Cílem léčby je návrat pacienta do stavu bez obtíží zvýšením transportní kapacity mízy. Léčení probíhá různými způsoby. Základní léčbou je komplexní dekongestivní terapie. Ta se skládá z manuální a přístrojové lymfodrenáže, zevní komprese, cvičení a režimových opatření (Tesařová, 2017; Vojáčková, 2021).

**Manuální a přístrojová lymfodrenáž** je masážní technika, při které se využívá znalost anatomie mízního systému. Jemnými pohyby je podporován správný tok mízy. Cílem léčby je odvést mízu z postižené oblasti do zdravých mízních uzlin (Vojáčková, 2021).

Použitím **zevní komprese** (obinadla, kompresní pomůcky) dochází ke zvýšení mízní drenáže a zabránění další absorpce mízy. Komprese funguje jako vnější bariéra proti šíření otoku a zároveň udržuje účinek provedené lymfodrenáže (Vojáčková, 2021).

Důležitá jsou **pohybová a dechová cvičení**. Soubor cviků zaměřených na končetiny se nazývá protiotoková gymnastika. Pacient by je měl provozovat 10–15 minut několikrát za den. Dále se doporučuje chůze s hůlkami, jóga, nebo plavání. Cvičení napomáhá zmenšení otoku, posílení a protažení svalů. Jednotlivá cvičení by se měla provádět pomalu, plynule, opakovaně a měla by se prokládat dýcháním (Vojáčková, 2021).

Mezi režimová opatření se řadí **péče o kůži**. Důležitá je hygiena, promazávání (za účelem dostatečné hydratace), ochrana před traumatem, antimykotická prevence prostorů mezi prsty, dezinfekce obuvi, a podobně (Vojáčková, 2021).

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této práce je věnována popisu vyšetření mízního systému na dolních končetinách pomocí radionuklidového zobrazování v nemocnici A.

#### 3.1 Metodika praktické části

Metodika je v této práci jako popis a celkový průběh vyšetření v nemocnici A, kde autor této bakalářské práce absolvoval odborné praxe během studia. Během těchto praxí byla shromážděna data o pacientech, kteří se zúčastnili radionuklidového zobrazování mízního systému (viz Průzkumná část).

Následně bude popsané vyšetření porovnáno s dalšími zařízeními – jedno, kde se autor taktéž zúčastnil praxe a další nemocniční zařízení dohledaná na internetu.

#### 3.2 Radionuklidové zobrazení mízního systému

**Účelem vyšetření** je zobrazení mízního systému dolních končetin a posouzení rychlosti odtoku mízy ze sledované oblasti, především při diferenciální diagnostice edémů.

**Pracoviště** musí splňovat podmínky podle Národních radiologických standardů (MZČR, 2011). Na pracovišti musí být ochranné pomůcky a prostředky (ochranné rukavice, olověný či wolframový kryt na stříkačku, olověný či wolframový kontejner na lahvičku s radiofarmakem, olověný či wolframový transportní kontejner na injekční stříkačky s nataženým radiofarmakem, ochranná olovem stíněná zástěra personální, olovem stíněný kontejner na použité jehly, olovem stíněný kontejner na použité stříkačky) (MZČR.CZ, 2011).

Vyšetřovacím **přístrojem** je dvoudetektorová (dvouhlavá) scintilační SPECT/low dose CT gamakamera (Obrázek 6) s nízkoenergetickým paralelním kolimátorem s vysokým rozlišením (MZČR.CZ, 2011). Vyšetřovací stůl gamakamery je doplněn o fixační pomůcky, které zamezují pohybu pacienta (fixační pásy, polštáře) – obrázky by pak nebyly ostré.



**Obrázek 6** – Dvuhlavá scintilační gamakamera se SPECT/CT (vlastní tvorba autora)

**Indikací** je diferenciální diagnostika edémů – průkaz poruchy mízního odtoku. Relativní **kontraindikací** vyšetření je těhotenství (provedení jen z vitální indikace při minimalizaci aplikované aktivity radiofarmaka) a laktace (používané radiofarmakum se vyplavuje i v mateřském mléku). V případě těhotenství se lékař spojí s indikujícím lékařem ke konzultaci, zda je možné indikovat podobné vyšetření bez použití ionizujícího záření a zda pokud nebude provedena scintigrafie, nepovede to k poškození zdraví pacientky.

Jako **radiofarmakum** jsou používány techneciem ( $^{99m}\text{Tc}$ ) značené nanokoloidy (Obrázek 7), které mají částice do velikosti 100 nm (dobře se dostávají do mízních kapilár) a jsou registrovány pro lymfoscintigrafii. Pacientovi, který váží 70 kg, se aplikuje aktivita do velikosti 150 MBq, podle Národních diagnostických referenčních úrovní. U pacientů s hmotností nižší či vyšší než 70 kg se uvažovaná optimální aktivita radiofarmaka vypočte podle tabulky (pomocí koeficientu). Aplikovaná aktivita, místo aplikace radiofarmaka a hmotnost pacienta se zaznamenává v dokumentaci vyšetření.



Obrázek 7 – Odstíněná stříkačka s radiofarmakem (vlastní tvorba autora)

Není nutná žádná speciální **příprava**. Pacient může před vyšetřením normálně jíst, pít a brát své předepsané léky. Zároveň je poučen o průběhu vyšetření.

### 3.2.1 Průběh vyšetření

Musí se ověřit osobní a zdravotní data, žádost o provedení vyšetření. Identifikace pacienta se dělá podle kartičky pojištěnce, ověření identity pacienta probíhá cíleným dotazem na jméno a datum narození před aplikací radiofarmaka. Pacient je poučen o průběhu a významu vyšetření včetně opatření ke snížení radiační zátěže (zavodnění, časté močení) a musí podepsat písemný souhlas s vyšetřením (Příloha A). U žen v reprodukčním věku se musí zvážit možnost těhotenství. Musí se provést cílený dotaz na to, zda je pacientka gravidní a zda kojí (u všech žen v reprodukčním věku, tj. věku 15–50 let). Dále je potřeba položit dotaz na alergie. Získané informace se musí zaznamenat do dokumentace. Pokud nelze vyšetření odložit a těhotenství nelze vyloučit, je třeba provést těhotenský test. Diagnostické aplikace radiofarmak, s výjimkou látek obsahujících  $^{131}\text{I}$ , nejsou u žen v reprodukčním věku důvodem k odkladu těhotenství. Pokud pacientka kojí, tak je personálem poučena o nutnosti přerušení a na jak dlouhou dobu musí kojení přerušit. Dále je odebrána anamnéza zaměřená na kontraindikace vyšetření, onemocnění, pro které se vyšetření provádí, a předchozí prodělané nemoci, které mohou ovlivnit výsledek vyšetření.

Radiofarmakum je natáhnuto do injekční stříkačky. Ověření aktivity radiofarmaka je měřeno pomocí měřiče aktivity (kalibrátoru). Aplikace radiofarmaka do těla pacienta je prováděna subkutánně (pod kůží) mezi 1. a 2. prst na dolní končetině (Obrázek 8). Poloha pacienta je na zádech, nohama směrem do gantry gamakamery (Obrázek 9).





**Obrázek 8** – Místo aplikace radiofarmaka (vlastní tvorba autora)



**Obrázek 9** – Uložení pacienta na stůl gamakamery (vlastní tvorba autora)

Vyšetřuje se pomocí gamakamery, která má 2 detektory. Dynamická scintigrafie je zahajována po aplikaci radiofarmaka. Projekce je přední a zadní, v zorném poli kamery by měla být oblast bérců a lýtek obou dolních končetin, bez místa aplikace. Délka záznamu scintigramů je pro dynamickou scintigrafii 15 minut. Frekvence scintigramů je 1 scintigram za 30 sekund. Matice  $128 \times 128$ , u dětí se používá přiblížení, které přizpůsobí zorné pole kamery tak, aby v něm byla celá požadovaná oblast. Po skončení dynamické scintigrafie pacient zůstává ležet na vyšetřovacím stole gamakamery a navazuje celotělový scintigram. Detektory gamakamery jsou přiblíženy co nejblíže povrchu těla pacienta. Celotělové scintigramy (kromě hlavy) zobrazující rozložení radiofarmaka v celém organismu. Provádí se za 30 minut po podání radiofarmaka (klidová fáze). Nahrávají se v přední a zadní projekci jako průběžný záznam při souvislém



pohybu kamery, rychlost průjezdu vyšetřovacího stolu mezi detektory gamakamery je zhruba 12 cm/minutu. Matice celotělového scintigramu je  $256 \times 1024$ . Místa aplikace musí být v zorném poli gamakamery a nesmí být vykryvána oloveným stíněním (je prováděna kvantifikace mízní drenáže). Použití body contouringu zajistí, aby byly detekční hlavy co nejbližší povrchu pacienta (pokud je paprsek laserů přerušen nějakou překážkou, okamžitě zastaví celý pohyb stroje). Po skončení celotělové scintigrafie následuje 60 minut normální chůze pacienta (zátěž) a poté se provádí další celotělová scintigrafie (mimo hlavu) za stejných akvizičních podmínek, znovu s použitím body contouringu. Poté je možné doplnit vyšetření o SPECT, popřípadě SPECT/low dose CT. Záznam a zpracování je nutné provést v souladu s doporučením výrobce gamakamery (120 projekcí při celkovém úhlu rotace  $360^\circ$ , tj.  $6^\circ$  na jeden krok, doba záznamu jedné projekce 10 sekund, matice  $128 \times 128$  pixelů). Při zvláštním nálezů se mohou provést doplňují přední, zadní, bočné nebo šikmé projekce. Lokalitu volí lékař. Doba snímání je 5 minut při použití matice  $256 \times 256$ . Detektory gamakamery se přiblíží co nejbližší povrchu těla pacienta. Dle rozhodnutí lékaře se provedou pozdní scintigramy v delším časovém odstupu (1-4 hodiny po aplikaci radiofarmaka) při velmi těžké poruše odtoku mízy a současném požadavku na posouzení průběhu lymfatického řečiště.

U planárních scintigramů je obraz zobrazen v monochromatické černobílé či barevné škále při optimálním obrazovém spektru a při volbě optimálních mezí pro dolní a horní zobrazovanou četnost impulzů, tak aby oblasti s chabou akumulací radiofarmaka byly dobře hodnotitelné. Akumulace radiofarmaka v tříselných uzlinách je první a výchozí hodnota (podaná aktivita = 100 %). Hodnota se získá po první celotělové scintigrafii, kdy se zvolí oblast zájmu (ROI – region of interest) zahrnující místo aplikace a průběh mízních cév a uzlin v třísele. Druhou hodnotou je akumulace v tříselech po 15 minutách klidu, je zvolena ROI nad tříselem a je vypočítána jako % z výchozí hodnoty. Třetí hodnotou je akumulace v tříselech po 30 minutách zátěže, ta je získána stejně jako druhá hodnota.

Zpráva o vyšetření obsahuje administrativní data, například data o pacientovi, adresu indikujícího lékaře, typ vyšetření, datum vyšetření, případně čas vyšetření, datum sepsání zprávy, klinické informace o pacientovi (indikace), popis vyšetření (identifikace přístroje, na kterém proběhlo vyšetření, radiofarmakum, případné podání dalších farmak, případné komplikace při vyšetření, způsob vyšetření, pokud byly použity doplňkové intervence nebo projekce), popis nálezu (popis scintigramu), klinický závěr ve vztahu k indikaci pacienta k vyšetření. Součástí klinického závěru může být v případě potřeby komentář uvádějící

případné limitace vyšetření, doporučení dalšího postupu nebo zdokumentování přímé komunikace s odesílajícím lékařem.

Vyšetření musí být řádně zdokumentováno. Základní dokumentací je tištěná zpráva o vyšetření a scintigramy. Archivován je i souhlas pacienta s vyšetřením. Vždy musí být zaznamenána jména pracovníků, kteří vyšetření prakticky provedli, jméno lékaře, který vyšetření zhodnotil, popsal a vytvořil klinický závěr. Archivace všech surových dat z vyšetření v PACS. Součástí dokumentace jsou provozní záznamy a souhrnné záznamy o vyšetření provedeném u jednoho pacienta. V této dokumentaci o vyšetření pacienta musí být všechny údaje potřebné pro odhad radiační zátěže pacienta, jako jsou název diagnostického výkonu, věk, pohlaví a onemocnění pacienta, jeho hmotnost, druh a aktivita radiofarmaka a způsob jeho aplikace. Po vyšetření je veškerý radioaktivní odpad likvidován (způsob je uveden provozním řádu pracoviště).

Při hodnocení kvality výsledku vyšetření se kontroluje technické provedení (shoda oblasti indikované k vyšetření s polem zabraným na snímku, kontrast obrazu, kvalita obrazu ze statistického hlediska, artefakty), skutečnost, zda byly získány informace, jež povedou ke stanovení diagnózy nebo ke změně dosavadního léčebného postupu nebo zda bylo získáno zobrazení tkání potřebné k provedení výkonu. Při zjištění snížené technické kvality zobrazení je nutno zjistit příčinu. Typickými zdroji chyb zhoršující kvalitu zobrazení jsou pohyb pacienta, akvizice příliš brzo nebo pozdě po aplikaci radiofarmaka, artefakty v oblasti vpichu, přílišná vzdálenost kolimátoru od pacienta, kovové implantáty, kontaminace vyšetřovacího lůžka nebo kolimátoru, útlakové artefakty.

Radiační zátěž při radionuklidovém vyšetření mízního systému je poměrně malá. Při aplikované aktivitě 50 MBq  $^{99m}\text{Tc}$ -nanokoloidu do každé končetiny (celkově 100 MBq) je efektivní dávka nižší než 1 mSv.

## 4 PRŮZKUMNÁ ČÁST

Průzkumná část bakalářské práce se zabývá průzkumem mízní nedostatečnosti dolních končetin. Data pacientů byla shromážděna autorem této bakalářské práce po schválení nemocnicí A během odborných praxí v rámci studia. Celkem byla získána data o 66 pacientech (viz Příloha B), kteří podstoupili radionuklidové vyšetření mízního systému dolních končetin v nemocnici A v letech 2021–2022. Data byla u každého pacienta získána po snímání v klidu a po zátěži u obou dolních končetin. Tato data budou následně zpracována a měla by být odhalena nejpočetnější skupina pacientů léčících se s poruchou odtoku mízy.

### 4.1 Věkové skupiny pacientů

Pacienti byli nejprve rozděleni do věkových skupin – každá skupina je v rozmezí 10 let (Tabulka 4). Následně byly tyto skupiny pro lepší přehlednost zobrazeny v grafu (Graf 1), z něhož je patrné, že nejvíce vyšetřených bylo v rozmezí 40–50 let.

Tabulka 4 – Věkové skupiny pacientů

Věkové skupiny od do	Absolutní četnost	Kumulativní absolutní četnost	Relativní četnost v %	Kumulativní relativní četnost v %
$0 \leq x < 10$	1	1	1,52	1,52
$10 \leq x < 20$	2	3	3,03	4,55
$20 \leq x < 30$	6	9	9,09	13,64
$30 \leq x < 40$	13	22	19,70	33,34
$40 \leq x < 50$	16	38	24,24	57,58
$50 \leq x < 60$	10	48	15,15	72,73
$60 \leq x < 70$	10	58	15,15	87,88
$70 \leq x < 80$	7	65	10,61	98,49
$80 \leq x < 90$	0	65	0,00	98,49
$90 \leq x < 100$	1	66	1,51	100
	66			

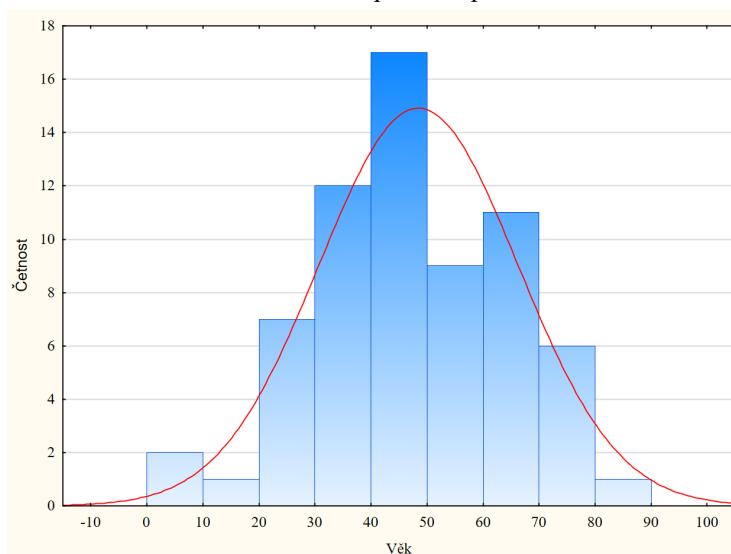
Absolutní četnost – počet jednotek ze statistického souboru, které mají danou hodnotu znaku,

kumulativní absolutní četnost – kolik hodnot je menších než zadané číslo,

relativní četnost v % – jaké procento všech hodnot se nachází v daném intervalu,

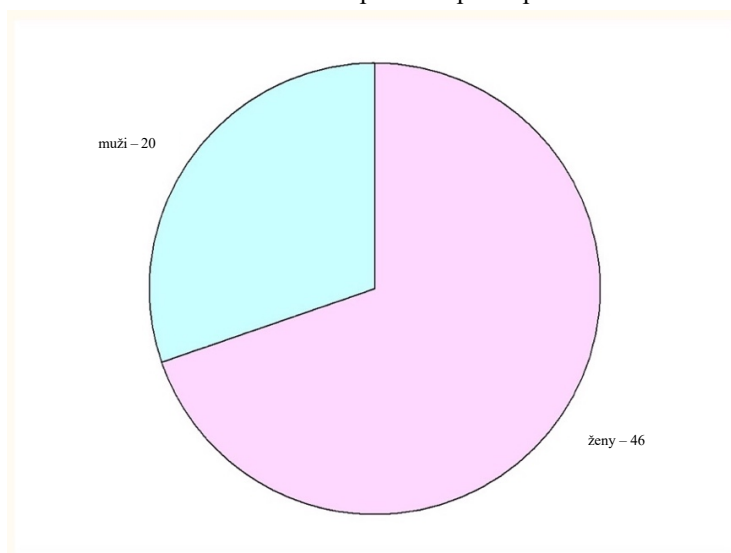
kumulativní relativní četnost v % – procento hodnot menších než zadané číslo (Chráška, 2016; Lierová, 2021).

**Graf 1 – Rozdělení pacientů podle věku**



Rozdělení pacientů podle pohlaví je zobrazeno v Grafu 2. Vyšetření se zúčastnilo více žen (řůžová barva – 46) než mužů (modrá barva – 20).

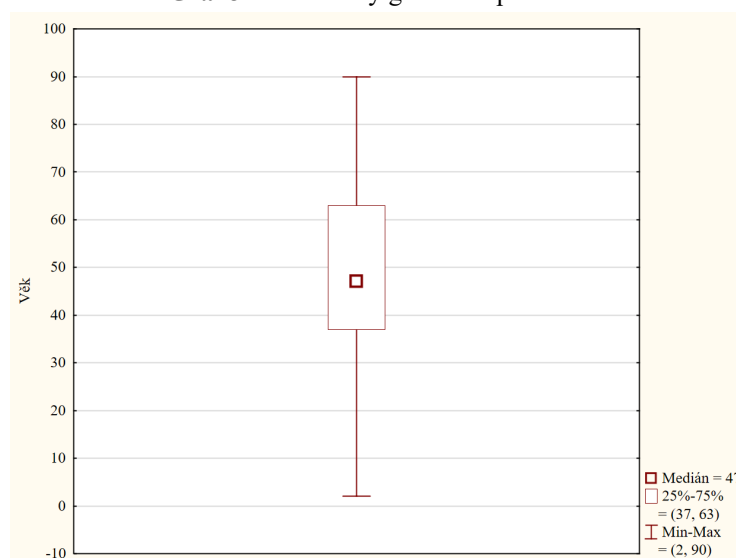
**Graf 2 – Rozdělení pacientů podle pohlaví**



V následujícím grafu (Graf 3) je znázorněn medián věků pacientů, věkové kvantily a minimum s maximumem. Minimum, 0% kvantil, se rovná 2. To znamená, že nejmladšímu pacientovi byly 2 roky. 25% kvantil (dolní kvartil) je 37, medián (50% kvantil) je 47 a 75% kvantil (horní kvartil) je 63. Maximum, 100% kvantil, se rovná 90. Nejstaršímu pacientovi tedy bylo 90 let. Vyskytly se zde vysoké odchylky ve věku, které by mohly průzkum zkreslovat. Proto bylo vybráno rozmezí pacientů ve věku od 20–80 let. Z tohoto důvodu byli odstraněni celkem 4 respondenti (respondent 1 – 2 roky, respondent 2 – 10 let, respondent 3 – 17 let a respondent 66 – 90 let), proto bylo do průzkumu zařazeno 62 pacientů.

**Medián** je střední prostřední hodnota daného souboru čísel. Tato hodnota jej dělí na dvě stejné poloviny. Pokud je ve zkoumaném vzorku sudý počet měření, získáme medián jako průměr dvou prostředních čísel. **Minimum** je nejnižší hodnota ze souboru. **Dolní kvartil** (25% kvantil) odděluje dolní čtvrtinu hodnot od zbytku vzorku. **Horní kvartil** (75% kvantil) naopak odděluje vrchní čtvrtinu naměřených hodnot od zbylého souboru měření. **Maximum** je nejvyšší hodnota souboru (Chráška, 2016; Lierová, 2021).

**Graf 3 –** Krabicový graf věků pacientů



Po vyřazení 4 respondentů, kteří by zkreslovali výsledky výzkumu, jelikož byli buď příliš mladí či staří, zbylo 62 respondentů. Ti byli rozděleni do třech skupin podle procent poklesu aktivity radiofarmaka – s normální kapacitou mizních cév, s nedostatečností, která se projevila pouze v klidové fázi, po zátěži se již normalizovala, s nedostatečností v klidové i zátěžové fázi u obou dolních končetin.

## 4.2 Normální kapacita mizních cév

Do první skupiny byli zařazeni pacienti, kteří trpěli otoky dolních končetin, proto podstoupili lymfoscintigrafii, ovšem kapacita jejich mizních cév byla normální (Tabulka 5). Pokles aktivity u nich byl v normě jak v klidu, tak po zátěži u obou dolních končetin.

**Tabulka 5 –** Pacienti s normální kapacitou mizních cév

Číslo	Pohlaví	Věk	LDK klid (%)	LDK zátěž (%)	PDK klid (%)	PDK zátěž (%)
4	ž	21	7,00	14,00	2,00	17,00
8	ž	26	1,20	14,20	1,40	16,40
16	ž	37	1,90	15,60	2,30	25,40
18	ž	38	2,00	26,00	5,00	13,00
19	ž	38	0,80	28,00	0,70	21,80

Číslo	Pohlaví	Věk	LDK klid (%)	LDK zátěž (%)	PDK klid (%)	PDK zátěž (%)
25	ž	42	1,40	5,80	0,70	5,40
27	ž	44	0,70	11,70	1,50	20,70
39	ž	50	0,60	8,80	1,60	8,20
43	m	56	1,50	19,00	3,50	30,80
51	m	64	2,10	15,00	2,60	15,20
60	ž	72	1,50	11,00	2,50	12,00
62	m	73	0,75	11,00	0,65	13,00
64	m	78	3,00	12,00	3,00	12,00
65	m	79	1,00	8,80	1,50	10,20

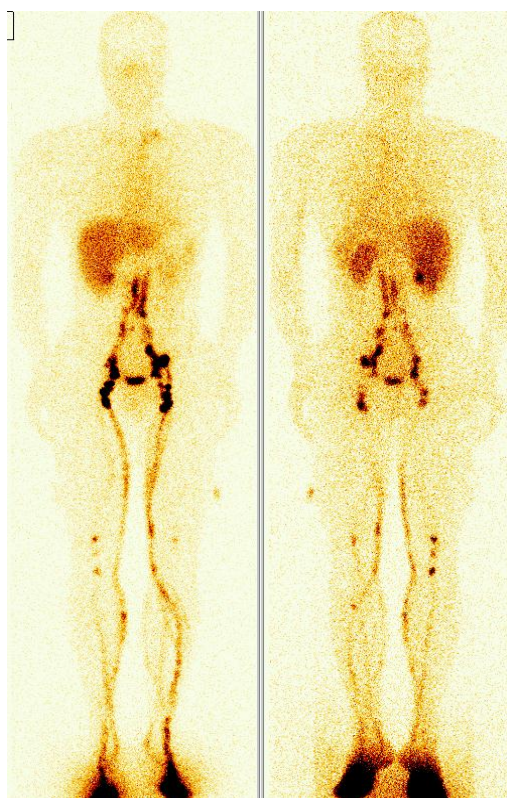
ž – žena

m – muž

LDK – levá dolní končetina

PDK – pravá dolní končetina

Normální kapacitu mizních cév mělo 14 pacientů, kteří podstoupili radionuklidové zobrazení mizního systému. Bez nálezu bylo vyšetřeno více žen – 9 než mužů – 5. Nejčastěji zastoupenou věkovou skupinou je rozmezí od 70 do 80 let. U levé dolní končetiny se pokles aktivity v klidové fázi pohyboval u všech zařazených pacientů mezi 0,60–7,00 %. V zátěži to pak bylo 5,80–28,00 %. U pravé dolní končetiny byla kapacita v klidu 0,65–5,00 % a v zátěži 5,40–30,80 %. Normální kapacitu značí hodnota poklesu aktivity v klidu větší než 0,50 %, v zátěži pak více než 5,00 %. Normální kapacita mizních cév je zobrazena na Obrázku 10.



**Obrázek 10** – Scintigram s normálním nálezem (Doležal, 2021)

### 4.3 Nedostatečnost v klidu, norma v zátěži

Nejčtenější skupinou tohoto průzkumu jsou pacienti s nedostatečností mizních cév v klidové fázi vyšetření, která se však v zátěžové fázi normalizuje (Tabulka 6). Hodnoty pro insuficienci v klidu jsou patrné dle procent poklesu aktivity – do 0,50 %. V zátěži jsou hodnoty normalizovány, proto je pokles více než 5,00 %, stejně jako v kapitole 4.2.

**Tabulka 6** – Pacienti s insuficiencí mizních cév v klidu a normalizovanou kapacitou v zátěži

Číslo	Pohlaví	Věk	LDK klid (%)	LDK zátěž (%)	PDK klid (%)	PDK zátěž (%)
5	ž	23	0,10	9,60	0,06	5,50
6	ž	24	0,20	8,00	0,40	10,00
7	ž	25	0,02	18,00	0,04	17,00
9	ž	26	0,10	11,30	0,10	9,00
10	ž	30	0,20	12,30	0,20	5,50
11	ž	34	0,08	17,80	0,20	18,00
12	ž	35	0,01	6,00	0,01	7,00
13	ž	35	0,10	5,50	0,10	6,00
14	ž	35	0,01	7,70	0,01	8,60
15	ž	36	0,06	13,30	0,04	6,90
17	m	37	0,30	8,00	0,40	10,00
21	ž	39	0,10	7,80	0,10	15,00
23	ž	41	0,10	12,80	0,30	11,50
28	m	44	0,01	22,00	0,04	17,00
29	ž	44	0,02	12,80	0,10	19,30
30	ž	45	0,10	7,00	0,13	10,00
33	ž	47	0,16	33,00	0,43	29,50
34	m	47	0,10	25,90	0,10	16,70
36	ž	48	0,02	20,40	0,01	17,20
37	ž	48	0,07	20,00	0,09	12,00
38	ž	49	0,05	7,30	60,10	6,30
41	ž	54	0,03	8,00	0,06	9,60
42	ž	55	0,08	9,00	0,17	6,50
44	ž	56	0,04	8,20	0,07	7,30
46	ž	57	0,10	6,90	0,10	9,30
48	ž	58	0,30	6,60	0,07	7,00
49	m	61	0,20	5,80	0,06	8,00
50	m	63	0,10	6,80	0,10	22,40
52	m	64	0,30	0,40	18,50	17,70
53	ž	65	0,09	11,70	0,18	7,90
61	m	72	0,10	15,30	0,03	14,10

ž – žena  
 m – muž  
 LDK – levá dolní končetina  
 PDK – pravá dolní končetina

Pacientů s mízní nedostatečností v klidové fázi, ale normální kapacitou poklesu aktivity v zátěži bylo 31. Častějším pohlavím zařazeným do této kategorie byly opět ženy – 24. Mužů zde bylo zařazeno 7. Nejčastější věkovou skupinou byli pacienti v rozsahu 40 a 50 let – celkem 9. Hodnota poklesu aplikované aktivity radiofarmaka byla v klidové fázi u levé dolní končetiny v rozmezí 0,01 a 0,30 % a v zátěži od 0,40–33,00 %. Co se týká pravé dolní končetiny, v klidu byla hodnota 0,01–60,10 %, v zátěžové fázi 5,50–29,50 %.

#### 4.4 Insuficience v klidu i zátěži

Poslední skupinou byli pacienti s nedostatečností mízních cév obou DK, která byla prokázána jak v klidové fázi, tak i po zátěži (Tabulka 7). Ze všech tří skupin je tato fáze pro pacienty nejhorší, jelikož se skutečně jedná o problém.

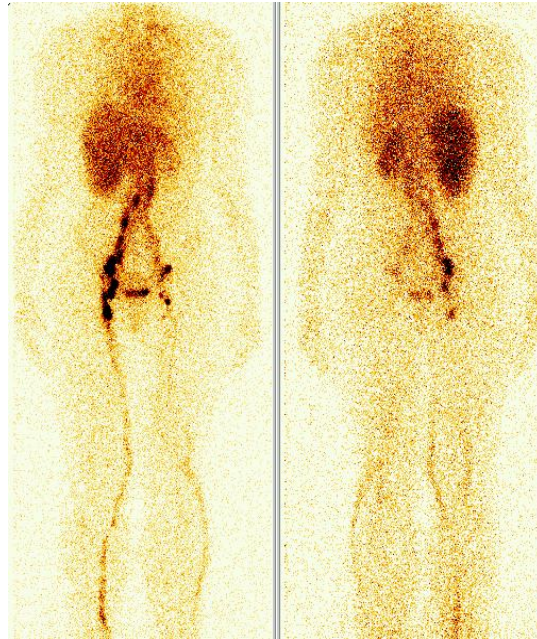
Tabulka 7 – Pacienti s insuficiencí v klidu i zátěži

Číslo	Pohlaví	Věk	LDK klid (%)	LDK zátěž (%)	PDK klid (%)	PDK zátěž (%)
20	m	38	0,17	2,80	0,09	3,80
22	ž	39	0,06	2,00	0,07	3,00
24	m	41	0,03	0,90	0,03	0,05
26	m	43	0,10	3,00	0,30	0,20
31	ž	45	0,15	4,20	0,01	0,60
32	ž	46	0,08	3,30	0,10	4,90
35	ž	47	0,40	3,40	0,10	1,80
40	ž	52	0,02	2,10	0,01	2,20
45	m	56	0,30	0,70	0,10	0,10
47	m	57	0,10	4,80	0,40	3,00
54	m	65	0,10	4,80	0,10	2,00
55	ž	66	0,40	3,00	0,20	3,00
56	ž	68	0,03	2,30	0,05	2,20
57	ž	69	0,06	0,05	0,80	4,50
58	ž	69	0,05	1,00	0,02	4,00
59	ž	70	0,02	1,70	0,03	4,80
63	ž	74	0,01	0,01	0,02	1,30

ž – žena  
 m – muž  
 LDK – levá dolní končetina  
 PDK – pravá dolní končetina



S nedostatečností mízního systému bylo do průzkumu zařazeno 17 pacientů – 11 žen a 6 mužů. Žen zde bylo tedy opět více. Nedostatečnost mízního systému byla diagnostikována nejčastěji ve věku od 60 do 70 let. U LDK byla nejnižší kapacita v klidu 0,01 % a nejvyšší 0,40 %. Naopak v zátěži byly hodnoty od 0,01 do 4,80 %. U PDK byl pokles aplikované aktivity v klidové fázi 0,01–0,80 %. Ve fázi zátěže to bylo 0,10–4,90 %. Na Obrázku 11 je možné pozorovat uzávěr mízní drenáže na vnitřní straně bérce a stehna. Tok lymfy kolaterálami je nedostatečný se slabou náplní pánevních lymfatických uzlin vlevo (Doležal, 2021).



**Obrázek 11** – Scintigram s patologickým nálezem (Doležal, 2021)

## 5 DISKUZE

Hlavním záměrem práce byl popis zobrazování mízního systému pomocí scintigrafie – radionuklidové zobrazení v nemocnici A. Dále byly stanoveny dva dílčí cíle. První z nich se zabývá porovnáním vyšetření na různých pracovištích. Jako primární (nemocnice A) bylo zvoleno zařízení, kde autor absolvoval odborné praxe během studia. Právě s touto nemocnicí jsou následně porovnávána další zařízení. Nemocnice B je další, kde autor praxi vykonával. Nemocnice C a D (zahraniční) byly zařazeny z dostupných zdrojů.

V tabulce 8 jsou zobrazeny tři česká zdravotnická zařízení, ke kterým bylo shromážděno/dohledáno více informací. Z toho důvodu není do tabulky zařazeno pracoviště D.

**Tabulka 8** – Porovnání českých zdravotnických zařízení

	<b>Pracoviště A</b>	<b>Pracoviště B</b>	<b>Pracoviště C</b>
<b>Aplikovaná aktivita</b>	100 MBq (2x 50 MBq)	150 MBq (2x 75 MBq)	150 MBq (2x 75 MBq)
<b>Aplikace</b>	Mezi 1. a 2. prst dolní končetiny	Mezi 1. a 2. prst dolní končetiny	Mezi 1. a 2. prst dolní končetiny
<b>Snímky okamžitě po aplikaci</b>	Dynamické bez místa aplikace	Statický snímek s místem aplikace	Neprovádí se
<b>Klidová pauza</b>	15 minut	30 minut	30 minut
<b>Snímání v klidu</b>	WB protokol – po processus xiphoideus s místem aplikace	WB protokol – po processus xiphoideus s místem aplikace (vykryto olověnou deskou)	WB protokol – po dolní okraj žeber s místem aplikace
<b>Zátěž</b>	30 minut	30 minut	30 minut
<b>Snímání v zátěži</b>	WB protokol – po processus xiphoideus s místem aplikace	WB protokol	WB protokol

MBq – megabecquerel

WB – Whole Body (celé tělo)

Z tabulky vyplývá, že místo aplikace radiofarmaka je na pracovišti A, B i C stejné, tedy mezi první a druhý prst dolní končetiny – u pravé i levé končetiny. Do stejného místa se radiofarmakum aplikuje také v zahraniční nemocnici D – používá se zde  $^{99m}\text{Tc}$ -sulfur koloid. V porovnávaných českých zařízeních se používá stejný typ radiofarmaka –  $^{99m}\text{Tc}$ -nanokoloid.

Aplikovaná aktivita se mezi pracovišti liší – v zařízení A je aplikováno do obou dolních končetin 50 MBq (celkem 100 MBq), oproti tomu v B a C se aplikuje 75 MBq do dolní levé i pravé končetiny (celkem tedy 150 MBq). U pracoviště D není údaj znám. V nemocnici A je okamžitě po aplikaci radiofarmaka provedeno dynamické snímání dolních končetin bez místa aplikace. V zařízení B i D se provádí statické snímání prvního meziprstí, a naopak v nemocnici C se tato část vyšetření vůbec neprovádí. Dále vyšetření pokračuje klidovou fází, která je v primárním zařízení oproti pracovišti B a C kratší o čtvrt hodiny. Délka této fáze není u nemocnice D uvedena. Tato fáze předchází klidovému snímání, které je v každé nemocnici v jiném rozsahu – v nemocnici A i B se tento rozsah shoduje, v nemocnici C je odlišný a u nemocnice D nebyl tento údaj zveřejněn. Pro toto snímání obrazu se používá protokol Whole Body (WB) tedy protokol pro celé tělo. Rozdíl u zařízení B oproti A je takový, že se místo aplikace vykryvá olověnou deskou. Na pracovišti C je velikost oblasti zájmu menší – pouze po dolní okraj žeber. U A i B je oblast zájmu od místa aplikace radiofarmaka (místo vpichu) po processus xiphoideus. Poté probíhá zátěž – pacient se intenzivně prochází po dobu 30 minut bez rozdílu pracoviště – všude trvá stejně dlouho. Po zátěži je provedeno zátěžové vyšetření – po zmíněné zátěži. V nemocnici B a C se provádí celotělově, v zařízení A pouze po mečovitý výběžek hrudní kosti. U pracoviště D není údaj uveden. Na všech pracovištích se obraz snímá z přední a zadní projekce. Kolimátor se na všech pracovištích používá stejný – nízkoenergetický paralelní s vysokým rozlišením. Všechna zařízení se také shodují v poloze pacienta – na zádech (supinační poloha) a nohama směrem do gantry.

Vyšetření se na vybraných pracovištích lišilo jen v detailech. Tyto detaily nemají na hodnocení získaných dat téměř žádný vliv. Pokud je lékařem vyžádáno, doplní se SPECT, SPECT/CT, nebo se udělají pozdní scintigramy v delším časovém odstupu (1 až 4 hodiny po aplikaci radiofarmaka). Právě SPECT/CT jako doplněk se zabývali Baulieu et al. (2013). Jejich cílem bylo vyzkoumat, zda má toto doplnění nějaký přínos pro scintigrafii. Jedná se o starší studii, která uvádí, že by měl být SPECT/CT ideálním přídatkem k lymfoscintigrafii, což lze v dnešní době potvrdit, jelikož se často využívá.

Druhý dílčí cíl práce byl řešen v průzkumné části, kde měla být odhalena nejvíce zastoupená skupina trpící mízní insuficiencí dolních končetin. Pacienti, jejichž data byla shromážděna, byli vyšetřeni v nemocnici A. Byli rozděleni nejprve do skupin podle věku, dále podle pohlaví (tato dvě rozdělení byla provedena pro lepší přehlednost zastoupených věků a pohlaví vyšetřovaných), a nakonec dle míry poklesu aplikované aktivity radiofarmaka. Respondenti byli rozděleni do tří skupin podle počtu procent pokleslé aktivity. Do první skupiny byli

zařazení pacienti s normální kapacitou mizních cév, tedy s normálním poklesem aktivity – pacienti bez nálezu v klidu i zátěži (jejich průměrný věk byl 51 let). Tito pacienti měli sice edém dolních končetin, vyšetření ale nic neprokázalo. Ve druhé skupině byli pacienti, jejichž pokles aplikované aktivity nebyl normální v klidové fázi, ale v následné zátěžové fázi se znormalizoval (průměrný věk této skupiny byl 45 let). Poslední prozkoumaná skupina obsahovala pacienty trpící nedostatečností mizního systému, která se projevila v klidu i po zátěži (průměrný věk pacientů byl 55).

Průzkumem bylo v této práci zjištěno, že vyšetření se provádí více u ženského pohlaví. V každé skupině, do kterých byli respondenti rozřazeni je tedy více žen. Bylo zjištěno, že se porucha mizních cév vyskytuje spíše u žen. Ty více trpí na nedostatečnost v klidové fázi, která je poté normální po 30minutové zátěži, kdy pacienti intenzivně chodí. Mají také častěji insuficienci v klidu i následné zátěži na rozdíl od mužů, což je pochopitelně horší stádium poruchy mizního systému. Tento výsledek potvrzuje také Kubešová (2020), která navíc uvádí, že se často vyskytuje mimo pacientek s gynekologickými nádory také u pacientů s tumorem prostaty nebo ledvin. Co se týče věku pacientů, průměrný věk z každé skupiny je nejvyšší u třetí skupiny – skupina s mizní nedostatečností.

Lymfoscintigrafie je bezpochyby užitečná. Např. Kwon et al. (2021) svým výzkumem zjistili, že je ideální před operací pro předpověď časné, ale i pozdní odpovědi na následnou léčbu. Toto téma je v dnešní době relativně dost řešené – především v zahraničí. Nejedná se ovšem o příliš časté onemocnění. Trpí jím asi 2 % populace. Aby se mu předcházelo, je důležité dodržovat jistá opatření pro prevenci. Mezi ně patří např. nekonzumování alkoholu a vyhýbání se kouření. Ideální je, aby pacienti dodržovali pitný režim a žili zdravým životním stylem. Pokud je pacient diabetik, měl by si stále hlídat hladinu cukru v krvi (Kubešová, 2020).

## 6 ZÁVĚR

Cílem práce bylo popsat radionuklidové zobrazení lymfatického systému v nemocnici A, ve které autor této bakalářské práce vykonával odborné praxe. Následně byl postup tohoto vyšetření v daném zdravotnickém zařízení porovnáván s dalšími zařízeními a byly hodnoceny rozdíly mezi nimi.

V bakalářské práci byly stanoveny dva dílčí cíle jako dodatek k hlavnímu cíli. Prvním cílem byl popis vyšetření v nemocnici A, který byl nadále porovnán s dalšími nemocnicemi/zdravotnickými zařízeními a byly shrnuty rozdíly, které byly nalezeny během tvorby praktické části. Při porovnání českých zařízení nebyly nalezeny znatelné rozdíly. Aplikace radiofarmaka probíhá ve všech třech porovnávaných zařízeních v České republice do stejného místa – mezi druhý a třetí prst pravé i levé nohy. Na zahraničním pracovišti D probíhá aplikace taktéž do prvního meziprstí obou dolních končetin. V nemocnici A se ihned po aplikaci provádí dynamické zobrazení mízního systému dolních končetin, oproti tomu se v nemocnici B snímá obraz z místa aplikace staticky, což je prováděno taktéž v zahraniční nemocnici D. V nemocnici C se tato fáze vyšetření neprovádí. Následuje klidová fáze, kdy pacient leží na stole gamakamery, ale obraz se nesnímá. V nemocnici A leží vyšetřovaný v klidu 15 minut, v ostatních dvou zařízeních půl hodiny. U zahraničního pracoviště nebyla ve zdroji tato informace uvedena. Dále např. fáze zátěže (pacient intenzivně chodí) se mezi pracovišti vůbec neliší – trvá všude 30 minut, a to včetně nemocnice D. Celotělové snímání (protokol WB – pro snímání celého těla) se všude provádí před i po zátěži, jen se na jednotlivých pracovištích liší rozsahem – v nemocnici A se snímá obraz pouze po mečovité výběžek sternu.

Jako druhý dílčí cíl bylo stanovit, která skupina pacientů nejčastěji trpí mízní nedostatečností obou dolních končetin. Dle dat z nemocnice A bylo odhaleno, že častěji tímto onemocněním trpí ženy v průměrném věku okolo 56 let. Při porovnání obou pohlaví je průměrný věk cca 55 let. Celkově bylo do průzkumu zařazeno 62 respondentů (4 byli vyřazeni – viz kapitola 4.1) v průměrném věku 48 let. Každý z nich měl však jiný problém – u některých bylo vyšetření s negativním nálezem, další skupina měla v klidové fázi mízní nedostatečnost, ale v zátěži bylo vše v normě a poslední skupina trpěla insuficiencí mízních cév.

Cílů, které byly na začátku práce vytyčeny, bylo dosaženo a lze na ně odpovědět. Bylo zjištěno, že případné rozdíly mezi provedením vyšetření existují spíše v porovnání České republiky a zahraničí. Mezi tuzemskými pracovišti významné rozdíly nejsou. Pokud byly nějaké rozdíly

nalezeny, nebyly nijak významné. Dále bylo zjištěno, že ženy trpí poruchou mízního systému častěji. Nejčastěji se jedná o věkovou skupinu v rozmezí 50–60 let.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

BAULIEI, F. et al., 2013. Contributions of SPECT/CT imaging to the lymphoscintigraphic investigations of the lower limb lymphedema. *Lymphology* [online]. Stuttgart, Thieme, 46(3), 106-19. [cit. 2023-04-23]. ISSN 2522-7963.

ČESKO, Vyhláška č. 55/2011 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-55>

ČESKO, Zákon č. 96/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činnosti souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o nelékařských zdravotnických povoláních). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96>

ČESKO, Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

ČIHÁK, Radomír, 2016. *Anatomie (Třetí, upravené a doplněné vydání)*. Grada. Praha. 832 s. ISBN 978-80-247-5636-3

DE HAAS, MJ, nedatováno. *Lymphoscintigraphy of the Lower Extremities*. In: [Richtlijndatabase.nl](https://richtlijndatabase.nl) [online] s. 151-157 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: [https://richtlijndatabase.nl/gerelateerde\\_documenten/f/17260/Lymphoscintigraphy%20of%20the%20Lower%20Extremities.pdf](https://richtlijndatabase.nl/gerelateerde_documenten/f/17260/Lymphoscintigraphy%20of%20the%20Lower%20Extremities.pdf)

DOLEŽAL, Jiří, 2021. *Fyzika v nukleární medicíně* [online]. Hradec Králové: FZS Univerzita Pardubice. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>

FÖLDI, Michael et Ethel FÖLDI., 2014. *Lymfologie* (přeložil Jan SARLON). Grada. Praha. 720 s. ISBN 978-80-247-4300-4

HANZALOVÁ, Jitka et Jan HEMZA., 2013. *Lymfatický systém – systema lymphatica*. [online] Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, Brno [cit. 2023-04-10] Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/fsps/elearning/zaklady\\_anatomie/zakl\\_anatomieIII/pages/lymfaticky\\_system.html](https://is.muni.cz/do/fsps/elearning/zaklady_anatomie/zakl_anatomieIII/pages/lymfaticky_system.html)

- HLINÁK, Radim, 2022. *Prevence radiačně indukované dysfagie: scoping review*. Pardubice. [cit. 2023-04-22] 99 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta zdravotnických studií. Vedoucí práce Mgr. Vít Blanař, Ph.D. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/79456/HlinakR\\_PrevenceRadiacne\\_VB\\_2022.pdf?sequence=1](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/79456/HlinakR_PrevenceRadiacne_VB_2022.pdf?sequence=1)
- HUŠÁK, V. et al., 2009. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. Univerzita Palackého v Olomouci. 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
- CHRÁSKA, Miroslav, 2016. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu, 2. aktualizované vydání*. Grada, Praha. 256 s. ISBN 978-80-247-5326-3
- KLAUZOVÁ, Kateřina, 2010. Diagnostika a léčba lymfedému. Interní medicína pro praxi, [online]. Dermatovenerologická klinika 3. LF UK FNKV, Praha, 12 (1), 36-40. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2010/01/07.pdf>
- KLENER, V. et al., 2009. *Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany 2007: Publikace 103* [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost., Praha, 276 s. [cit. 2023-04-03] ISBN: 978-80-254-5829-7 Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP103\\_dokument.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP103_dokument.pdf)
- KOMÁREK, Pavel, 2006. Radiofarmaka v nemocniční praxi. *Farmacie pro praxi: Praktické lékárenství* [online]. Solen, s. r. o., 2. (5), 4. [cit. 2023-04-03]. ISSN 1803-5329 Dostupné z: <https://farmaciepropraxi.cz/pdfs/lek/2006/05/10.pdf>
- KORANDA, P. et al., 2017. *Nukleární medicína*. Dotisk. Univerzita Palackého v Olomouci. 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.
- KRAFT, O. et al., 2012. *Radiofarmaka*. Ostravská univerzita v Ostravě. 97 s. ISBN 978-80-7464-183-1.
- KUBEŠOVÁ, Barbora, 2020. Lymfedém pacientům způsobuje trvalé obtíže. Léčba musí být dlouhodobá a důsledná. In: *Zdravi.euro.cz* [online]. Copyright © 1997 – 2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanky/lymfedem-priciny-priznaky-lecba/>
- KUPKA, K. et al., 2015. *Nukleární medicína*. Upravený dotisk. P3K, s. r. o., Praha. 161 s. ISBN 978-80-87343-54-8
- KWON, H. R. et al., 2021. Predictive role of lymphoscintigraphy undergoing lymphovenous anastomosis in patients with lower extremity lymphedema: a preliminary study. *BMC Medical*



*Imaging* [online]. London: BioMed Central, [2001], 21(1) [cit. 2023-04-23]. ISSN 1471-2342. DOI: 10.1186/s12880-021-00713-1.

[LIEROVÁ, Anna, 2021. \*Základy statistiky \(1\)\* \[online\]. Pardubice: FZS Univerzita Pardubice. \[cit. 2020-03-26\]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>](#)

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY (MZČR), 2011. Věstník ministerstva zdravotnictví České republiky. In: *Mzcr.cz* [online]. Částka 9, s. 25-99. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/5340/36204/V%C4%9Bstn%C3%ADk%20MZ%20%C4%8CR%209-2011.pdf>

MORNSTEIN, Vojtěch, 2021. *Radiologická fyzika a radiobiologie: Detekce a dozimetrie ionizujícího záření* [online]. Biofyzikální ústav Lékařské fakulty Masarykovy univerzity., Brno [cit. 2023-04-04] Dostupné z: [https://www.med.muni.cz/biofyz/files/vlzl/lectures/nukl\\_radio\\_18.pdf](https://www.med.muni.cz/biofyz/files/vlzl/lectures/nukl_radio_18.pdf)

NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL, 2023. *Lymfedém: diagnóza a léčba* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/940-lymfedem-diagnoza-a-lecba>. ISSN 2695-0340

NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL, 2023. *Lymfedém: příčiny a příznaky* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/939-lymfedem-priciny-a-priznaky>. ISSN 2695-0340.

NÁRODNÍ ZDRAVOTNICKÝ INFORMAČNÍ PORTÁL, 2023. *Zánět lymfatických cév (lymfangitida)* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/943-zanet-lymfatickych-cev-lymfangitida> ISSN 2695-0340.

NEZDAŘILOVÁ, Tereza, 2017. *SPECT/CT zobrazení nádorů štítné žlázy – úloha radiologického asistenta* [online]. Univerzita Pardubice., Pardubice. [cit. 2023-04-09] s. 58. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta zdravotnických studií. Vedoucí práce Ing. Jiří Kulíš Dostupné z:

[https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68395/NezdarilovaT\\_SPECTCTZobrazeni\\_JK\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68395/NezdarilovaT_SPECTCTZobrazeni_JK_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

PAPPALARDO, Marco et Ming-Huei CHENG, 2019. Lymphoscintigraphy for the diagnosis of extremity lymphedema: Current controversies regarding protocol, interpretation, and clinical application. *Journal of Surgical Oncology* [online]. New York, Plenum, 121(1), 37-47 [cit. 2023-04-22]. ISSN 1096-9098. Dostupné z: doi:10.1002/jso.25526.

POVÝŠIL, Ctibor, Ivo ŠTEINER et al., 2007 *Speciální patologie. 2. vydání*. Galén., Praha. 430 s. ISBN 978-807262-494-2.

SEIDL, Z. et al., 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. Grada., Praha, 368 s. ISBN 978-80-247-4108-6

TESAŘOVÁ, Lucie, 2017. *Lymfoscintigrafie u pacientů s otoky dolních končetin* [online]. Masarykova univerzita., Brno. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/myfol/Bakalarska\\_prace.pdf](https://is.muni.cz/th/myfol/Bakalarska_prace.pdf) Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Hana Holíková

ULLMANN, Vojtěch, 2009. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostravská univerzita v Ostravě. 173 s. ISBN: 978-80-7368-669-7.

VLK, M. et al., 2020. 99Mo99mTc generátor: výroba a využití v nukleární medicíně 1. část. *Nukleární medicína* [online]. Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně, 9 (9), 67-75. [cit. 2023-04-03]. ISSN 1805-1146 Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/nuklearni-medicina/2020-4-19/sup-99-sup-mo-sup-99m-sup-tc-generator-vyroba-a-vyuziti-v-nuklearni-medicine-1-cast-125594>

VOJÁČKOVÁ, Naděžda, 2021. Aktuální pohled na léčbu lymfedému. *Dermatologie pro praxi*, [online]. Dermatologické centrum Anděl, Praha, 15 (1), 5-10. [cit. 10. 4. 2023]. DOI 10.36290/der.2021.001 Dostupné z: <https://www.dermatologiepropraxi.cz/pdfs/der/2021/01/01.pdf>

VOMÁČKA, Jaroslav. et al., 2012. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Olomouc, Univerzita Palackého. 160 s. ISBN 978-80-244-3126-0

ZIMMERMAN, Heather et al., 2012. Lymphoscintigraphy of Lower Limb Edema. *Clinical Nuclear Medicine* [online]. 37(4), 411-415 [cit. 2023-04-22]. ISSN 0363-9762. DOI: 10.1097/RLU.0b013e318244426e.

## **8 PŘÍLOHY**

Příloha A – <i>Informovaný souhlas pacienta</i> .....	67
Příloha B – <i>Seznam respondentů</i> .....	69

**Příloha A – Informovaný souhlas pacienta**

**Tel.:** ..... **IČO:** .....  
**Oddělení nukleární medicíny -**  
**Tel.:** .....

**Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce  
s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře**

**Pacient/ka:** .....  
..... příjmení ..... jméno ..... titul

**Rodné číslo:** ..... **Pojišťovna:** .....

**Zákonný zástupce:** .....  
(otec, matka) ..... příjmení ..... jméno ..... titul

**Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:**

.....  
..... příjmení ..... jméno ..... titul .....  
..... pracovní zařazení  
(zdravotní sestra, zřízenec)

**Plánovaný výkon:** **Lymfoscintigrafie**

**Radiofarmakum:** **<sup>99m</sup>Tc-nano-albumon**

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař scintigrafické vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na gamakameře po předchozí aplikaci radiofarmaka (léku označeného radioaktivním izotopem), obvykle nitrožilní. Zobrazení záchytu radiofarmaka umožňuje posoudit stav orgánů, přítomnost patologických ložisek apod.. Dle potřeby je scintigrafie doplněna nízkodávkovým CT. Interval mezi aplikací a vyšetřením závisí na typu výkonu. Vyšetření způsobuje nevelkou radiační zátěž organismu.

Nežádoucí vedlejší účinky (alergické reakce) se po aplikaci radiofarmak vyskytují zcela ojediněle. Pokud by se objevily po odchodu z našeho oddělení, obraťte se na svého ošetřujícího lékaře nebo pohotovost v místě bydliště, event. na Oddělení urgentní medicíny

Před vyšetřením sdělte případné alergie v minulosti, u žen v reprodukčním věku těhotenství, podezření na těhotenství, kojení.

V den vyšetření je doporučen zvýšený příjem tekutin. Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Po celý den vyšetření, je třeba omezit kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami.

Podrobnější dotazy Vám ochotně zodpoví lékař aplikující radiofarmakum nebo jiný lékař oddělení.

**Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s průběhem vyšetření. Byly mi zodpovězeny všechny mé otázky, a to srozumitelně, včetně všech rizik či komplikací.**

**Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu (včetně alergií), mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit průběh vyšetření. Současně prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.**

**Souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: ..... v ..... hodin**

**Podpis: .....**

**Aplikace radiofarmaka**

**Čas:**

**Způsob:**         i.v.             s.c.             jiný: .....

**Místo:** kubitální žíla     vpravo         vlevo

          předloktí         vpravo         vlevo

          dorsum ruky         vpravo         vlevo

          dorsum nohy         vpravo         vlevo

          jiné .....

Dle anamnestických údajů:        Gravidita: ANO    NE        Kojení: ANO    NE

Alergie:

Lékař/ka provádějící poučení a aplikaci radiofarmaka. Lékařské ozáření schválil/a lékař/ka:

– jmenovka a podpis: .....

Vyšetření provedl/a:

**Příloha B – Seznam respondentů**

<b>Pacient</b>	<b>Pohlaví</b>	<b>Věk</b>	<b>LDK klid (%)</b>	<b>LDK zátěž (%)</b>	<b>PDK klid (%)</b>	<b>PDK zátěž (%)</b>
1	m	2	0,01	0,01	0,01	0,01
2	ž	10	0,10	2,00	0,04	0,10
3	ž	17	0,80	29,00	0,70	15,00
4	ž	21	7,00	14,00	2,00	17,00
5	ž	23	0,10	9,60	0,06	5,50
6	ž	24	0,20	8,00	0,40	10,00
7	ž	25	0,02	18,00	0,04	17,00
8	ž	26	1,20	14,20	1,40	16,40
9	ž	26	0,10	11,30	0,10	9,00
10	ž	30	0,20	12,30	0,20	5,50
11	ž	34	0,08	17,80	0,20	18,00
12	ž	35	0,01	6,00	0,01	7,00
13	ž	35	0,10	5,50	0,10	6,00
14	ž	35	0,01	7,70	0,01	8,60
15	ž	36	0,06	13,30	0,04	6,90
16	ž	37	1,90	15,60	2,30	25,40
17	m	37	0,30	8,00	0,40	10,00
18	ž	38	2,00	26,00	5,00	13,00
19	ž	38	0,80	28,00	0,70	21,80
20	m	38	0,17	2,80	0,09	3,80
21	ž	39	0,10	7,80	0,10	15,00
22	ž	39	0,06	2,00	0,07	3,00
23	ž	41	0,10	12,80	0,30	11,50
24	m	41	0,03	0,90	0,03	0,05
25	ž	42	1,40	5,80	0,70	5,40
26	m	43	0,10	3,00	0,30	0,20
27	ž	44	0,70	11,70	1,50	20,70
28	m	44	0,01	22,00	0,04	17,00
29	ž	44	0,02	12,80	0,10	19,30
30	ž	45	0,10	7,00	0,13	10,00
31	ž	45	0,15	4,20	0,01	0,60
32	ž	46	0,08	3,30	0,10	4,90
33	ž	47	0,16	33,00	0,43	29,50
34	m	47	0,10	25,90	0,10	16,70
35	ž	47	0,40	3,40	0,10	1,80
36	ž	48	0,02	20,40	0,01	17,20
37	ž	48	0,07	20,00	0,09	12,00
38	ž	49	0,05	7,30	60,10	6,30
39	ž	50	0,60	8,80	1,60	8,20
40	ž	52	0,02	2,10	0,01	2,20
41	ž	54	0,03	8,00	0,06	9,60
42	ž	55	0,08	9,00	0,17	6,50
43	m	56	1,50	19,00	3,50	30,80

Pacient	Pohlaví	Věk	LDK klid (%)	LDK zátěž (%)	PDK klid (%)	PDK zátěž (%)
44	ž	56	0,04	8,20	0,07	7,30
45	m	56	0,30	0,70	0,10	0,10
46	ž	57	0,10	6,90	0,10	9,30
47	m	57	0,10	4,80	0,40	3,00
48	ž	58	0,30	6,60	0,07	7,00
49	m	61	0,20	5,80	0,06	8,00
50	m	63	0,10	6,80	0,10	22,40
51	m	64	2,10	15,00	2,60	15,20
52	m	64	0,30	0,40	18,50	17,70
53	ž	65	0,09	11,70	0,18	7,90
54	m	65	0,10	4,80	0,10	2,00
55	ž	66	0,40	3,00	0,20	3,00
56	ž	68	0,03	2,30	0,05	2,20
57	ž	69	0,06	0,05	0,80	4,50
58	ž	69	0,05	1,00	0,02	4,00
59	ž	70	0,02	1,70	0,03	4,80
60	ž	72	1,50	11,00	2,50	12,00
61	m	72	0,10	15,30	0,03	14,10
62	m	73	0,75	11,00	0,65	13,00
63	ž	74	0,01	0,01	0,02	1,30
64	m	78	3,00	12,00	3,00	12,00
65	m	79	1,00	8,80	1,50	10,20
66	m	90	0,60	7,70	2,30	6,20

LDK – levá dolní končetina  
PDK – pravá dolní končetina  
m – muž  
ž – žena