

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Alžběta Rozbořilová

Radionuklidová diagnostika plicní embolie

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

prof. MUDr. Milan Kamínek, Ph.D.

Olomouc 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Radionuklidová diagnostika plicní embolie** vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci dne 17. dubna 2022

.....

Podpis

Poděkování

Mé poděkování patří prof. MUDr. Milanu Kamínkovi, Ph.D. za poskytování rad při tvorbě bakalářské práce.

Anotace

Typ práce: Bakalářská
Téma práce: Radionuklidová diagnostika plicní embolie
Název práce v ČJ: Radionuklidová diagnostika plicní embolie
Název práce v ANJ: Radionuclide diagnostics of pulmonary embolism
Datum zadání: 2021-11-30
Datum odevzdání: 2022-04-30

Vysoká škola, fakulta, ústav:

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav radiologických metod

Autor: Rozbořilová Alžběta
Vedoucí: prof. MUDr. Milan Kamínek, Ph.D.
Oponent: MUDr. Iva Metelková, Ph.D.

Abstrakt v ČJ:

Přehledová bakalářská práce se zaměřuje na radionuklidovou diagnostiku plicní embolie prováděnou na klinikách nukleární medicíny. Častý výskyt tohoto onemocnění vede k otázce výběru vhodné diagnostické zobrazovací metody, která přinese kvalitní zobrazení a bude pro vyšetřovaného pacienta nenáročná. Ventilačně – perfuzní scintigrafie plic funguje na principu detekce radioaktivního preparátu, který je pacientovi aplikován před zahájením vyšetření. Výsledné zobrazení ventilace i perfuze a případné defekty v něm pomáhají lékařům rozpoznat pozitivní nález plicní embolie i její lokalizaci. Práce je rozčleněna do tří kapitol, z nichž se první zabývá samotným onemocněním. Druhá kapitola je věnována teoretickým základům nukleární medicíny a poslední kapitola se přesněji věnuje vyšetřovacím metodám určeným k diagnostice plicní embolie v nukleární medicíně. Poznatky pro tuto práci byly dohledány v databázích Medvik a EBSCO.

Abstrakt v AJ:

This bachelor thesis focuses on radionuclide diagnosis of pulmonary embolism used by departments of Nuclear medicine. A frequent occurrence of pulmonary embolism leads to a question of choice appropriate diagnostic examination method which will

bring a quality image and will be unassuming for a patient. Ventilation-perfusion lung scintigraphy works on the principle of detection radioactive substance which is given to a patient before the start of examining. Final image of ventilation and perfusion or possible defects helps doctors to recognize positive finding of pulmonary embolism and localize it. The thesis is divided into three chapters. Resources were found in databases Medvik and EBSCO.

Klíčová slova v ČJ: plicní embolie, nukleární medicína, tromboembolická nemoc, ventilačně perfuzní sken

Klíčová slova v AJ: pulmonary embolism, nuclear medicine, tromboembolism, ventilation perfusion scan

Rozsah práce: 35 stran / 0 příloh

Obsah

Úvod	7
Popis rešeršní činnosti	9
1 Plicní embolie.....	10
1.1. Diagnostika.....	12
1.2. Léčba.....	15
1.3. Chronická tromboembolická plicní hypertenze	16
2 Nukleární medicína	18
2.1. Radionuklidová diagnostika	20
3 Scintigrafie plic	24
3.1. Zobrazování perfuze a ventilace plic	26
3.2. Interpretace výsledků vyšetření	27
3.3. Srovnání V/P SPECT s CT angiografií plic.....	28
Závěr	30
Referenční seznam	32
Seznam zkratek.....	35

Úvod

Plicní embolie je častým závažným až život ohrožujícím kardiovaskulárním onemocněním, které je způsobeno tromboembolickou obstrukcí části plicního řečiště. Vzestup tlaku v plicním oběhu v důsledku obstrukce vede k přetěžování pravé komory, jejímu selhávání, až ke smrti. Na vzniku PE se může podílet řada rizikových faktorů, zejména podstoupení větších chirurgických zákroků, zlomeniny končetin, které vyžadují sníženou mobilitu, maligní onemocnění, hormonální terapie či trombofilie. Klinické příznaky tohoto onemocnění jsou především dušnost, bolest na hrudi, tachykardie, tachypnoe, kašel, hemoptýza či synkopa (Kincl, 2014, str. 17). K určení pravděpodobnosti plicní embolie se nejčastěji uplatňují skórovací systémy, které slouží ke zhodnocení pravděpodobnosti tohoto nálezu. Další diagnostický postup je nutné plánovat s ohledem na klinický stav pacienta a jeho hemodynamickou stabilitu. K diagnostice PE je dostatečné spirální CT plic, které je v dnešní době nahrazováno ventilačně-perfuzní plicní scintigrafií (Hlásenský, 2015, str. 128).

V rámci tohoto tématu se nabízejí otázky: Jaké jsou aktuální publikované informace o plicní embolii, její diagnostice a léčbě? Jaké jsou aktuální poznatky o vyšetření perfuze a ventilace plic uplatňované za cílem této diagnostiky v nukleární medicíně?

Cíle bakalářské práce s tématem Radionuklidová diagnostika plicní embolie jsou blíže specifikovány ve třech hlavních kapitolách:

- I. Sumarizovat dohledané aktuální poznatky o plicní embolii, její diagnostice a léčbě.
- II. Sumarizovat dohledané aktuální poznatky o principech v nukleární medicíně.
- III. Sumarizovat dohledané aktuální poznatky o scintigrafickém vyšetření plic a jeho výhodách oproti jiným diagnostickým postupům v rámci diagnostiky plicní embolie.

Publikace prostudované před tvorbou práce:

BAJC, Marika, Carl SCHÜMICHEN, Thomas GRÜNING, et al., 2019. EANM guideline for ventilation/perfusion single-photon emission computed tomography (SPECT) for diagnosis of pulmonary embolism and beyond. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 46(12), 2429-2451 [cit. 2021-11-03]. ISSN 16197070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-019-04450-0

KINCL, Vladimír, Adéla DROZDOVÁ, Roman PANOVSÝ, Igor SUŠKEVIČ a Milan KAMÍNEK, 2014. Zobrazovací metody v diagnostice a stratifikaci rizika akutní plicní embolie. *Intervenční a akutní kardiologie*. 13(1), 17-22. ISSN 1213-807X. Dostupné také z: <http://www.iakardiologie.cz/archiv.php>

KLOK, F. A., M. DELCROIX a H. J. BOGAARD, 2018. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension from the perspective of patients with pulmonary embolism. *Journal of Thrombosis* [online]. 16(6), 1040-1051 [cit. 2022-01-06]. ISSN 15387933. Dostupné z: doi:10.1111/jth.14016

ROKYTA, Richard, Martin HUTYRA a Pavel JANSÁ, 2020. Doporučené postupy Evropské kardiologické společnosti (ESC) pro diagnostiku a léčbu akutní plicní embolie, verze 2019. Stručný přehled vypracovaný Českou kardiologickou společností. *Cor et Vasa*. 62(2), 154-182. ISSN 0010-8650. Dostupné z: doi:10.33678/cor.2020.016

STAVROS V. KONSTANTINIDES, 2020. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Российский кардиологический журнал* [online]. 25(8) [cit. 2021-11-03]. ISSN 15604071. Dostupné z: doi:10.15829/1560-4071-2020-3848

Popis rešeršní činnosti

V následující kapitole je popsána rešeršní činnost této přehledové bakalářské práce.

VYHLEDÁVACÍ KRITÉRIA:

- klíčová slova v ČJ, AJ
- jazyk
- období
- další kritéria, např. recenzovaná periodika, věk atd.

DATABÁZE:

MEDVIK, EBSO

NALEZENO: 551 dokumentů

VYŘAZUJÍCÍ KRITÉRIA:

- duplicitní články
- kvalifikační práce
- články, které neodpovídají cílům práce

SUMARIZACE VYUŽITÝCH DATABÁZÍ A DOHLEDANÝCH DOKUMENTŮ

EBSCO – 15 dokumentů

MEDVIK – 3 dokumenty

SUMARIZACE DOHLEDANÝCH PERIODIK A DOKUMENTŮ

Cor et Vasa – 2 dokumenty

Intervenční a akutní kardiologie – 1 dokument

Interní medicína pro praxi – 1 dokument

Kardiologická revue – 1 dokument

Pro tvorbu bakalářské práce bylo použito 18
dohledaných článků a 2 knižní zdroje.

1 Plicní embolie

Plicní embolie se řadí mezi jedno z nejčastějších kardiovaskulárních onemocnění. Jedná se o stav, kdy je část plicního řečiště uzavřena trombotickou obstrukcí, která může mít za následek život ohrožující pravostranné srdeční selhání. V 90 % případů vzniká PE na podkladě tromboembolické nemoci žilního systému dolních končetin, zejména hluboké žilní trombózy (HŽT). Vzácněji může PE vznikat pod jinou příčinou: embolie tuková, vzduchová, septická, nádorová či embolie plodovou vodou (Indra, 2014, str 184). PE je onemocněním s vysokou mírou hospitalizace, především v západní Evropě (Tureček, 2020, str. 15), a také vysokou mortalitou, které se v nejhorším případě, a to, pokud není PE včas diagnostikována, blíží až ke 30 %. Naopak u brzy rozpoznané, diagnostikované a léčené PE se mortalita vyskytuje pod 10 %. I přes to, že je PE všeobecně známé onemocnění, může být diagnostika z důvodu často nespécifických příznaků náročná. Incidence tohoto onemocnění se podle lokálních studií uvádí na 60 případů na 100 000 obyvatel za rok. Tato statistika však nezahrnuje výskyt lehčích a asymptomatických nálezů plicní embolie (Indra, 2014, str. 184). Plicní tepny a kapilární řečiště mají své fibrinolytické vlastnosti a jsou schopny zachytit a rozložit menší subsegmentální sraženiny. To znamená, že velmi malé PE jsou běžným fyziologickým jevem (Bajc, 2019, str. 2436).

Netrombolické plicní embolie

Netrombolické PE mohou mít více příčin. Mohou být vyvolány různými druhy buněk, bakteriemi, houbami, parazity, plyny či jinými tělesy. Symptomy netrombolických PE mohou být podobné jako v případě akutní tromboembolické nemoci. Diagnostika netrombolických PE bývá z důvodu špatného zobrazení pomocí zobrazovacích metod či malé klinické zkušenosti obtížnější.

Výskyt embolie cizího tělesa se v důsledku zvyšování počtu intervenčních výkonů zvyšuje. Materiály používané při těchto výkonech mohou vyvolat trombózu až sepsi. Tuková embolie vzniká naopak na podkladě multifaktoriální příčiny. Nejedná se pouze o uzávěr cév překážkou, ale přispívají k tomu i látky inflamační kaskády (Rokyta, 2015, str. 454). Tento druh embolie doprovází zlomeniny dlouhých kostí, popáleniny i poranění měkkých tkání (Tanabe, 2018, str. 358). Vzduchovou embolií je charakterizován průnik vzduchu do žilního systému. Nejčastěji vzniká jako důsledek manipulace s žilními katetry. Fatální následky nastanou, pokud do žilního oběhu pronikne 100–500 ml vzduchu. Septická embolie je spojena s infekcí *Staphylococcus*

aureus a pravostrannou endokarditidou (Rokyta, 2015, str. 454). Zvýšené riziko vzniku septické embolie doprovází i nitrožilní uživatelé drog. (Tanabe, 2018, str. 358).

U onkologicky nemocných pacientů se solidními tumory se může vyskytnout mikroembolizace nádorovými hmotami, která se může často zaměnit za následky tromboembolické nemoci (TEN). Současně je u pacientů s nádorovým onemocněním až čtyřikrát vyšší riziko vzniku TEN (Rokyta, 2015, str. 454).

Embolie plodovou vodou se řadí mezi méně časté embolické postižení. Objevuje se v období těhotenství až krátce po porodu a je jedním z nejčastějších příčin úmrtí těhotných žen. Projevuje se akutní oběhovou a dechovou nedostatečností. Mezi nejčastější rizikové faktory patří již přítomná kardiovaskulární, cerebrovaskulární, renální postižení, poškození plodu, instrumentální porod, porod mrtvého plodu či porod císařským řezem (Rokyta 2020, str.176). Incidence případů této embolizace je přibližně 1,9-2,5 případů na 100 tisíc těhotenství (Rokyta, 2015, str. 454).

Akutní plicní embolie

Akutní plicní embolie (APE) je charakterizována jako náhlý uzávěr plicní tepny způsobený trombotizujícím embolem, který vzniká uvolněním trombického plátu dolních končetin nejčastěji při hluboké žilní trombóze (Rubini, 2019, str. 187). APE působí významně na krevní oběh. Nejčastější příčinou úmrtí u těžké PE je selhání pravé komory srdeční (PKS) jako následku velkého tlakového přetížení. Svalovina PKS se v důsledku zvýšeného cévního odporu v plicích dilataje, což vede i ke změně její kontraktility a k jejímu poškození (Rokyta, 2015, str. 436).

Podle Doporučení České kardiologické společnosti je APE dělena podle závažnosti na masivní, submasivní a malou. Pacienti s akutní masivní PE jsou hemodynamicky nestabilní, hypotenzní a často se nacházejí v šokovém stavu. Akutní submasivní PE je charakterizována hemodynamickou stabilitou, avšak při echokardiografickém vyšetření jsou zřejmé známky přetížení pravé komory srdeční. V případě pacientů s akutní malou PE nenese pravé srdce známky poškození a často se projeví jen dušností, tachykardií nebo může proběhnout zcela asymptoticky. Dále i Guidelines Evropské kardiologické společnosti člení APE na základě rizika časně mortality na vysoce rizikovou (šok, hypotenze, mortalita vyšší než 15 %), středně rizikovou (echokardiografické známky přetížení PKS, pozitivita markerů postižení myokardu, mortalita 3–15 %) a nízkorizikovou (s absencí výše zmíněných příznaků, mortalita do 1 %) (Indra, 2014, str. 184).

Klinické projevy

Obtížnější diagnostika PE vzniká jako důsledek nespecifity jejích symptomů. Především u starších nemocných se často PE zaměňuje za jiné kardiovaskulární onemocnění. Jako nejčastější příznak PE je uvedena náhle vzniklá dušnost. Často se u pacientů s PE vyskytují i bolesti na hrudi, spíše pleurálního než substernálního charakteru a asi pětinu pacientů postihne dráždivý kašel. Vzácným, ale důležitým symptomem bývá i synkopa, která může být výsledkem výrazně snížené hemodynamické rezervy. Fatálními klinickými projevy rizikové APE je akutní pravostranné srdeční selhání s hemodynamickou nestabilitou, hypotenzí, šokem, nebo i náhlou smrtí. K dalším klinickým projevům PE se mimo výše zmíněné příznaky řadí i horečka, cyanóza či známky HŽT (Indra, 2014, str. 184–185).

Predisponující faktory

Rizikové faktory pro vznik žilního tromboembolismu jsou podle Doporučených postupů České kardiologické společnosti rozdělovány na tři hlavní skupiny. Silnými predisponujícími faktory jsou fraktury dolní končetiny, hospitalizace pro srdeční selhání nebo fibrilaci síní, výměna kyčelního nebo kolenního kloubu, polytrauma, infarkt myokardu (v posledních 3 měsících), předchozí žilní tromboembolismus, poranění míchy. Artroskopická operace kolene, autoimunitní onemocnění, krevní transfuze, centrální žilní katetr, chemoterapie, užívání léků stimulujících erythropoézu, hormonální substituční terapie, užívání perorální antikoncepce, poporodní období, infekce či zánětlivé onemocnění střev, povrchová trombóza i trombofilie jsou faktory středně závažné. Slabé rizikové faktory zahrnují klid na lůžku delší než 3 dny, diabetes mellitus, arteriální hypertenzi, nedostatečný pohyb a časté sezení, vyšší věk, obezitu, těhotenství, varixy (Rokyta, 2020, str. 159). Nejčastěji geneticky získaným rizikovým faktorem jsou mutace faktorů V a II (protrombinu), jejichž výskyt v Evropě dosahuje 3–7% a 1–2 % (Bajc, 2019, str. 2431).

1.1. Diagnostika

Diagnostika PE je i přes všeobecnou znalost tohoto onemocnění náročná kvůli jejím asymptomatickým a nespecifickým příznakům (Indra, 2014, str. 184). Ve včasné diagnostice PE je na prvním místě zhodnocení pacienta a jeho predisponujících faktorů pro výskyt embolie (Kincl, 2014, str. 17). Přestože jsou jednotlivé známky a příznaky méně specifické a senzitivní, jednotlivě nejsou spolehlivým ukazatelem onemocnění. Jejich vhodnou kombinací však můžeme dosáhnout informace o

pravděpodobnosti plicní embolie u určitého pacienta. Tyto kombinace, tedy přesněji skórovací systémy, jsou vhodné pro rozčlenění pacientů s nízkým, středním či vysokým podezřením na PE (Indra, 2014, str. 186). Doporučení a jednotlivé skórovací systémy tromboembolické nemoci v lékařských oborech vychází se souhrnu klinických a laboratorních predisponujících faktorů tohoto onemocnění (Hlásenský, 2015, str. 126). Na základě zjištění zvýšené pravděpodobnosti u skórovacích systému TEN není však možné vytvořit konečnou diagnózu (Hlásenský, 2015, str. 127). Nejrozšířenějším z těchto systému pro určení pravděpodobnosti PE je Wellsovo skóre, u kterého byla využitelnost potvrzena hned v několika studiích (Indra, 2014, str. 186). Tento systém se využívá v predikci výskytu hluboké žilní trombózy. Zjednodušená verze tohoto algoritmu je současně i důležitou součástí diagnostiky PE. Vychází z anamnézy a klinického obrazu konkrétního pacienta, doplněných o RTG snímek hrudníku i rozbor krevních plynů. Méně často se používá též Wickiho skórovací systém a Geneva skóre (Hlásenský, 2015, str. 128). Pro obě skóre jsou dostupné i jejich zjednodušené a ověřené varianty (Bajc, 2019, str. 2431).

Vyhodnocení diagnostického postupu je také založeno především na hemodynamické stabilitě pacienta. Hemodynamicky stabilní pacienti s malou či nižší střední klinickou pravděpodobností PE jsou posíláni v první řadě ke stanovení hladiny D-dimerů. V případě pozitivního nálezu jsou dále vyšetřováni pomocí spirálního CT plic či, při nedostupnosti CT, metodou první volby ventilačně-perfuzní plicní scintigrafie. U hemodynamicky stabilních pacientů s podezřením na PE a s ultrasonograficky potvrzenou anamnézou HŽT je okamžitě zahájena antikoagulační léčba. Diagnostickou metodou první volby u nestabilních pacientů by mělo CT plic, popřípadě se provádí echokardiografie (ECHO) u lůžka. Pacientům s kontraindikací k CT vyšetření a těhotným ženám je indikováno ultrasonografické vyšetření žil a ECHO. Spolehlivou diagnostickou zobrazovací metodou pro vyloučení PE je tedy spirální CT plic, které v dnešní době nahrazuje V/P scintigrafii a plicní angiografii (Hlásenský, 2015, str. 128).

Laboratorní diagnostickou metodou je stanovení hodnot plazmatických D-dimerů, což jsou produkty rozpadu fibrinové sraženiny. Tato hodnota dokáže predikovat přítomnost tohoto onemocnění. Mimo pacientů s žilním tromboembolismem se množství plazmatických D-dimerů zvyšuje i při infarktu myokardu, cévní mozkové příhodě, infekci, zánětu a v těhotenství (Bajc, 2019, str. 2432). Normální hodnoty D-dimerů proto značí nízkou pravděpodobnost HŽT i APE. Určuje se zejména u

ambulantních pacientů, u nichž je pravděpodobnost výskytu PE nižší a snižuje množství následně negativních vyšetření, které radiálně zatěžují pacienta. V případě vysokého rizika PE se nestanovují, protože nejsou schopny s přesností vyloučit tuto indikaci (Rokyta, 2020, str. 162).

Rentgenový snímek hrudníku bývá často jedním z prvních vyšetření, které pacient s dušností a podobnými příznaky plicní embolie podstoupí (Kincl, 2014, str. 17). Snímek plic neslouží přímo k její diagnostice, ale k vyhledání alternativních diagnóz pacienta, jako je pneumothorax, pneumonie, CHOPN, rakovina plic či plicní fibróza (Bajc, 2019, str. 2431). V případě PE je možné, že se na snímku plic objeví atelektáza, elevace bránice na postižené straně, zvětšený hilus nebo prominence plicnice. Prostý snímek plic však samotnou PE nevylučuje.

Echokardiografické vyšetření patří taktéž ke standardním postupům při určování diagnózy u pacientů s plicní embolizací. Česká i Evropská Guidelines uvádí jako známky plicní embolizace dilataci pravé komory, hypokinezi volné stěny PKS a zvýšení poměru enddiastolického diametru PKS/LKS. Asi u 25 % pacientů s APE je PKS dilatována. Výhoda echokardiografie spočívá v možnosti posouzení funkce srdce (Kincl, 2014, str. 17–19).

Multidetektorová CT angiografie plicnice (MDCTA) je v současnosti nejdůležitější diagnostickou metodou diagnostiku APE. Jeden z jejích hlavních přínosů je široká dostupnost, a to i v menších nemocnicích (Kincl, 2014, str. 19). Pomocí MDCTA je možné zobrazit plicní řečiště až na úroveň plicních segmentů (Rokyta, 2015, str. 439). Negativní prediktivní hodnota normálního nálezu je téměř 98 %, což je srovnatelné s klasickou plicní angiografií (Indra, 2014, str. 186). Nevýhodou CT vyšetření je zvýšená radiální zátěž pacienta a nutnost podání kontrastní látky, u níž je riziko vzniku alergické reakce či poškození ledvin (Kincl, 2014, str. 20). Jako alternativa diagnostické strategie multidetektorového vyšetření u stabilních pacientů může být využita kombinace klinické pravděpodobnosti, pozitivita D-dimerů, duplexní ultrasonografie a převážně V-P scintigrafie (Kincl, 2014, str. 21).

Ventilačně – perfuzní (V/P) scintigrafie plic je další často využívaná, jednoduchá, levná, rychlá a pro pacienta nenáročná metoda bez kontraindikací (Rubini, 2019, str. 188). Bývá upřednostňována u ambulantních pacientů s nízkou klinickou pravděpodobností PE, u těhotných žen a u pacientů s kontraindikací k vyšetření CT, tedy u pacientů alergických na kontrastní látku a u pacientů s renálním selháním (Rokyta, 2020, str. 161).

Vyšetření pomocí magnetické rezonance se naopak od MDCTA nepovažuje za vhodnou metodu k diagnostice PE. Její nevýhodou je omezená dostupnost a vyšší časová náročnost pro její provedení (Kincl, 2014, str. 20).

Duplexní žilní ultrasonografie (DUS) k potvrzení diagnózy opět neslouží přímo, ale uplatňuje se jako hlavní metoda v diagnostice žilní trombózy, která je jedním z důležitých prediktivních faktorů existence PE. Znamky trombózy spočívají v nekompresibilitě žíly tlakem vyvolaným pomocí vyšetřovací sondy, její dilataci během dvourozměrného zobrazení či přímo viditelným trombem. S využitím dopplerovského barevného zobrazení se může vyskytnout intraluminální defekt, chybějící spontánní tok nebo chybějící respirační variace toků v žíle (Kincl, 2014, str. 21).

1.2. Léčba

Cílem léčby plicní embolie je primárně zabránit úmrtí postiženého pacienta. Snížit pravděpodobnost recidivy PE (Rokyta, 2020, str. 166). V důsledku uzávěru průtoku krve v plicním řečišti může dojít k výraznému snížení poměru perfuze a ventilace, což má za následek hypoxemii až respirační selhání. U těchto pacientů je léčba zaměřena na podporu krevního a respiračního oběhu. Při saturaci kyslíkem < 90 % je indikována vysokoprůtoková oxygenoterapie pomocí nosní kanyly nebo umělá plicní ventilace. Farmakoterapie je využívána pro léčbu kardiogenního šoku při akutním selhání pravé komory srdeční, která může být příčinou smrti pacienta. Při zástavě krevního oběhu se neprodleně zahajuje kardiopulmonální resuscitace (KPR) a v případě, pokud již byla zahájena trombolýza, se doporučuje pokračovat v KPR po dobu 60–90 minut. Při srdečním selhání či hemodynamickém zhroucení je využívána mechanická podpora oběhu.

Nejčastější volbou terapie PE je podávání antikoagulačních léčiv, a to minimálně po dobu tří měsíců (Tureček, 2020, str. 16). Vysoká a střední pravděpodobnost PE již před konečnou diagnózou vede k parenterálnímu podání nejčastěji nízkomolekulárních heparinů (LMWH). Nefrakciovaný heparin (UFH) je určený pro pacienty se zjevnou hemodynamickou nestabilitou, pro pacienty se závažnou poruchou funkce ledvin či pro pacienty morbidně obézní. Další možnou volbou farmakoterapie u pacientů bez kontraindikací (těhotenství, laktace) je pro dlouhodobou léčbu využíváno antikoagulačních léky skupiny NOAC (Apixaban, Dabigatran, Edoxaban, Rivaroxaban) či VKA (Rokyta, 2020, str. 167-168). V průběhu léčby PE je nutné opakovaně zvažovat možnost vysazení těchto léčiv (Tureček, 2020, str. 16).

Případné brzké vysazení může mít za následek rekurenci PE. Naopak dlouhodobé podávání antikoagulačních léčiv je doprovázeno zvýšeným rizikem závažných krvácivých stavů (Indra, 2014, str. 187).

Jako invazivní metoda léčby PE, zejména u hemodynamicky nestabilních pacientů, může být indikována reperfuční léčba (systémová trombolýza, perkutánní mechanická trombektomie či chirurgická embolektomie) (Rokyta, 2020, str. 178).

Výskyt chronické tromboembolické plicní hypertenze po plicní embolii

Chronická PE embolie představuje stav, kdy dochází k opakovaným poruchám perfuze po neúplně vyléčené první PE. Chronická PE má často progresivní průběh a může vést až k chronické tromboembolické plicní hypertenzi (CTEPH), srdečnímu selhání, arytmií a smrti (Bajc, 2019, str. 2443). Strategie sledování pacientů po plicní embolii je založena na klinickém zhodnocení stavu pacienta za 3–6 měsíců po prodělané PE. Důležitým faktorem je přítomnost dušnosti či jiných funkčních postižení plic (trvalých i náhle vzniklých), opakovaná tromboembolické příhoda, přítomnost nádoru a krvácivých komplikací při protisrážlivé léčbě. Při perzistující dušnosti se provádí echokardiografie ke zjištění CTEPH. Jedincům s vysokou pravděpodobností je indikováno vyšetření V/P scintigrafií. V případě pozitivního nálezu perfuzních defektů by měli být posláni do specializovaného centra pro plicní hypertenzi. Stejně tak i u pacientů bez symptomů, kteří však splňují rizikové faktory. Přítomnost chronické tromboembolické hypertenze po vzniku PE může pacienta ohrožovat na životě (Rokyta, 2020, str. 179).

1.3. Chronická tromboembolická plicní hypertenze

Chronická tromboembolická plicní hypertenze (CTEPH) je jednou ze čtyř známých plicních hypertenzí. Je definována jako symptomatická hypertenze s defekty plicní perfuze, způsobenými trvalou obstrukcí plicního řečiště. CTEPH je způsobována přetrvávajícími tromby a jizvami v proximálních i distálních plicních tepnách, což vede právě ke zvýšení tlaku v tomto řečišti (Opitz, 2018, str. 1). Incidence jejího rozvoje je 0,1–9,1 % u pacientů do dvou let po symptomatické PE. Tedy jen 50–75 % pacientů má předešlou PE v anamnéze (Rokyta, 2020, str. 178). Přesná epidemiologie CTEPH není známa. Ve výskytu hrají velkou roli rizikové faktory. Známými rizikovými faktory jsou autoimunitní a hematologické poruchy jako některé trombofie – antifosfolipidový syndrom, vysoká hodnota koagulačního faktoru VIII, záněty a předchozí žilní tromboembolická nemoc, zavedené ventrikulo-atriální shunty, implantované elektrody,

předchozí splenektomie, přítomnost nespecifického střevního zánětu, nádorové onemocnění, substituční terapie štítné žlázy. Nelze vyloučit ani genetické a environmentální faktory (Opitz, 2018, str. 1, Rokyta 2020, str. 178). Klinické příznaky CTEPH jsou nespecifické, proto často tato hypertenze není rozpoznána či je diagnostikována pozdě. Běžnými příznaky jsou dušnost při cvičení, edém, únava, bolest na hrudi, synkopa a závratě či hemoptýza (Klok, 2018, str. 1). Pozdní rozpoznání vede k následným plicním vaskulárním změnám zejména centrálních segmentálních či subsegmentálních cév. U každého pacienta jsou postižení v různém rozsahu. Latentně může dojít k pravostrannému srdečnímu selhání, což může být fatální. Z tohoto důvodu je v dnešní době cílem zvýšit povědomí o tomto onemocnění (Opitz, 2018, str. 1).

Diagnostika CTEPH je založena na nálezech zjištěných po minimálně tříměsíční době antikoagulační léčby: zvýšení středního tlaku v plicnici ≥ 25 mm Hg, tlaku v zaklínění (≤ 15 mm Hg) a při výskytu primárně perfuzních defektů na V/P scintigrafii. Proto se pro diagnostiku CTEPH využívá nejčastěji planární V/P scintigrafie i V/Q SPECT. Naopak CTPA jako samostatná metoda k vyloučení CTEPH je udávána jako nedostačující (Rokyta, 2020, str. 178).

Jakmile je diagnóza CTEPH potvrzena a pokud to stav pacienta umožňuje, optimální možností léčby je plicní endarterektomie (PEA) (Klok, 2018, str. 1). Po operačním zákroku se většině pacientů stav zlepší a dochází i k normalizaci hemodynamiky (Rokyta, 2020, str. 178). PEA je operačním výkonem, který výrazně snižuje mortalitu. Přesto i po úspěšném zákroku dochází u téměř jedné třetiny pacientů ke stále přetrvávající reziduální plicní hypertenzi (Chong, 2021, str. 321). Z dlouhodobého hlediska je prognóza pacientů po PEA lepší než prognóza pacientů inoperabilních. V případech, kdy je pacient s CTEPH inoperabilní, je doporučena méně invazivní balónková plicní angioplastika (BPA), která nejčastěji vyžaduje několik samostatných výkonů. Latentně se u některých pacientů může hypertenze objevit znovu, a proto jsou po zákroku stále sledováni ve specifických centrech. Farmakologická léčba pacientů s CTEPH, včetně těch po PEA či BPA, spočívá v doživotním užívání antikoagulačních léků, především antagonistů vitamínu K (Rokyta, 2020, str. 178). Další standardní lékařská péče zahrnuje podávání diuretik či oxygenoterapii (Chong, 2021, str. 321). Pro léčbu opakované plicní hypertenze nebo pro léčbu inoperabilních pacientů se dnes jako jediný lék využívá riociguat (stimulátor solubilní guanylátcyklázy) (Rokyta, 2020, str. 178).

2 Nukleární medicína

Nukleární medicína je medicínský obor zabývající se diagnostikou a terapií pomocí otevřených radioaktivních látek neboli radiofarmak. Radiofarmaka využívaná v nukleární medicíně se aplikují do organismu, v těle se distribuují a podle svých vlastností se vychytávají v určitých tkáních, orgánech či patologických ložiscích. Pomocí záření gama, které nejčastěji radiofarmaka určené k diagnostice vyzařují, je možné sledovat pohyb těchto látek pomocí metod měření in vitro či metod in vivo (zevní detekcí záření gama). V nejjednodušším případě pomocí kolimované scintilační sondy (Šabata, 2019, str. 24). V rámci zobrazení distribuce radiofarmak se při scintigrafickém vyšetření hodnotí fyziologické a patofyziologické procesy v těle pacienta a určuje se místo výskytu patologických útvarů. V porovnání se zbylými zobrazovacími metodami je nevýhodou metod nukleární medicíny absence zobrazení anatomických detailů. Na druhé straně naopak nukleární medicína poskytuje vynikající informace o funkci, fyziologické činnosti, patologii orgánů a charakteru tkání. Přesnější zobrazení spolu s anatomickými detaily je umožněno pomocí fúze obrazů, kterého jsou schopny hybridní přístroje (SPECT/CT, PET/CT). Ty kombinují nukleární vyšetření s rentgenovým. Samotný obor nukleární medicíny je založen na spoluprací s dalšími klinickými obory jako je onkologie, endokrinologie, kardiologie, revmatologie či ortopedie (Koranda, 2014, str. 7).

Radiofarmaka

Specifičnost nukleární medicíny je založená na využívání otevřených radionuklidových zářičů ve formě radiofarmak. Mezi základní fyzikální vlastnosti radionuklidových zářičů patří druh a poločas radioaktivní přeměny či energie záření, kterou daný radionuklid emituje. K diagnostickým účelům se aplikují radionuklidy o druhu záření γ a β^+ , jejichž absorpce v těle umožňuje zevní detekci. K terapeutickým účelům se aplikují právě zářiče β^- nebo α s vysokou absorpcí ve tkáni a vhodné lokálnímu ozáření. Významnou vlastností radionuklidových zářičů je jejich energie záření, která určuje jejich pronikavost ve tkáních i v prostředí. Za účelem diagnostiky se využívají primárně zářiče o energii 60–511 keV. Poločasem radioaktivní přeměny ($T_{1/2}$) se rozumí časový úsek, za který se přemění polovina původního množství jader.

Radiofarmaka mohou mít různé složení, používají se anorganické či organické sloučeniny, které mohou být v mnoha podobách (pravý či koloidní roztok, pevná látka – kapsle, plynná látka, aerosol či ve formě značených částic a značených buněk).

Fyzikální a chemické skupenství radiofarmaka určuje jeho osud v určitém orgánu (Šabata 2019, str. 100). Chemickou formou radiofarmak bývají nejčastěji ionty radionuklidů, které jsou pacientům aplikovány v lékové podobě (příkladem je technecistanový iont $^{99m}\text{TcO}_4^-$). Radionuklidy bývají často kombinovány s využitím komerčních neradioaktivních souprav, tzv. kitů.

Aplikační forma radiofarmak je rozdělena na parenterální, perorální a inhalační. Parenterální, tedy injekční cestou podávaná radiofarmaka, mohou být ve formě pravých roztoků, koloidních disperzí či ve formě suspenzí. Perorálně podávané jsou roztoky, koloidy, emulze a tuhé látky. Jako inhalační přípravky bývají používány radioaktivní plyny či radiofarmaka ve formě aerosolů (Koranda, 2014, str. 19–20).

Kvalita RF má definované speciální požadavky, které se liší podle cesty podání. Přísné požadavky jsou kladeny na RF určené pro parenterální podání a volnější pro perorální podání. Spolu s ostatními léčivými přípravky musí být RF sterilní, apyrogenní a netoxické. Sterilita léčivých přípravků spočívá přípravě přípravku za aseptických podmínek v laminárním boxu a za použití sterilních přísad. Rovněž při vlastní aplikaci musí radiologický asistent či lékař podávající léčivý přípravek dodržovat zásady aseptické práce. Pro radioaktivní léčiva existují i další specifické nároky, především na stabilitu po dobu možného použití, která spočívá v zabránění rozkladu radioaktivních léčivých přípravků vhodným skladováním a respektováním doby použitelnosti. Nezbytné je u RF také stanovení jejich chemické, radionuklidové a radiochemické čistoty (Šabata, 2019, str. 101–102). Radionuklidovou čistotou se rozumí poměr aktivity deklarovaného radionuklidu na celkové aktivitě přípravku. Kontaminace radionuklidu je nežádoucí, protože zvyšuje radiační zatížení pacienta (Koranda, 2014, str. 22).

Aktivita jednotlivých radiofarmak je charakterizována jako střední počet přeměn určitého vzorku radionuklidu za jednotku času. K diagnostickým účelům je využíváno radiofarmak s aktivitou v rozsahu stovek kBq až po stovky MBq. V rámci terapie je vyžadováno aplikovat radiofarmaka o aktivitě v řádech GBq (Koranda, 2014, str. 14). V rámci stanovených Diagnostických referenčních úrovní je určováno přípustné množství podávaných radiofarmak pro dospělého člověka o hmotnosti 70 kg (Šabata, 2019, str. 101). Zobrazení nukleární medicíny je založeno na distribuci a hromadění radiofarmak v orgánech pomocí specifických mechanismů. Mezi takové procesy se řadí aktivní transport, pasivní transport, pasivní difuze, mikroembolizace, fagocytóza, vazba RF na specifické receptory či sekvestrace buněk (Koranda, 2014, str. 21).

Radiofarmaka využívaná pro diagnostiku a terapii na pracovištích nukleární medicíny mohou být připravována na oddělení v laboratoři přípravy radiofarmak za použití radionuklidových generátorů či mohou být vyráběna hromadně a dodávána na oddělení. Nejčastěji používaným generátorem je molybden-techneciový generátor, který je zásadní pro výrobu nejpoužívanějšího radionuklidu v nukleární medicíně ^{99m}Tc . Dalšími používanými generátory jsou rubidium – krypton ($^{81}\text{Rb} \rightarrow ^{81m}\text{Kr}$), který je určen pro vyšetření plicní ventilace a germanium – galium ($^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$) generátor (Šabata, 2019, str. 101–103).

Mimo výše zmiňované druhy radiofarmak se používají k vyšetření i buňky, na které je navázána radioaktivní látka. V dnešní době se prakticky využívají jen značené krevní elementy (erytrocyty a leukocyty). Příprava takto značeného biologického materiálu vyžaduje ochranu pracovníka před kontaminací. Pro práci s biologickým materiálem se uplatňuje laminární box pro práci s infekčním materiálem, tzv. biohazard (Šabata, 2019, str. 104).

Základní radiofarmaka uplatňovaná v nukleární medicíně

Pro diagnostiku a terapii se využívá široké spektrum radiofarmak, která jsou aplikována pacientům před vyšetřením i během něj. Mezi základní radiofarmaka, která jsou na odděleních nukleární medicíny denně používána, patří ^{99m}Tc -fosfonáty, ^{99m}Tc -MIBI, ^{99m}Tc -DTPA, ^{99m}Tc -MAG 3, ^{99m}Tc -DMSA, ^{99m}Tc -MAA, ^{99m}Tc -aerosoly a ^{81m}Kr , ^{131}I , ^{18}F -FDG a mnoho dalších. Techneciem značené fosfonáty jsou důležitým radiofarmakem pro scintigrafii skeletu, tedy pro zobrazení kostní tkáně. ^{99m}Tc -MIBI má zásadní uplatnění při vyšetření myokardu. ^{99m}Tc -DTPA, ^{99m}Tc -MAG 3, ^{99m}Tc -DMSA jsou využívána pro scintigrafii ledvin. ^{99m}Tc -MAA spolu s techneciem značenými aerosoly a kryptonem hrají významnou roli při scintigrafii plic. Pro detekci nádorů či zánětlivých procesů pozitronovou emisní tomografií se uplatňuje radiofarmakum ^{18}F -FDG (Koranda, 2014, str. 23).

2.1. Radionuklidová diagnostika

Zobrazení distribuce radiofarmaka a jeho přesnější sledování v těle umožňuje vyšetření, které se nazývá scintigrafie či gamagrafie. Scintigrafie je založena na využívání scintilačních kamer (též gamakamer). Samotné scintigrafické vyšetření se od radiodiagnostického zobrazování velice liší. Zdrojem záření při scintigrafii je pacient, nikoliv zevní zářič (rentgenka). Po průchodu záření tkáněmi pacienta se dostává do scintilační kamery, kde vzniká výsledný obraz rozložení radiofarmaka ve

vyšetřované oblasti. Radiační zátěž pacienta je závislá na podaném radiofarmaku, rychlosti jeho vylučování a radioaktivní přeměně. Doba akvizice není rozhodující.

Podle typu prostorového zobrazení můžeme scintigrafická vyšetření rozdělit na dvě skupiny. Dvourozměrné zobrazení distribuce radioaktivní látky v těle pacienta je známé jako planární scintigrafie. Tomografická scintigrafie je trojrozměrným prostorovým zobrazením radiofarmaka v určité vyšetřované oblasti. Pro tomografickou scintigrafii se využívají dva odlišné druhy přístrojů – SPECT (jednofotonová emisní výpočetní tomografie) a PET (pozitronová emisní tomografie) (Šabata, 2019, str. 29).

Přístrojová technika

První scintilační kamera byla zrekonstruována H. O. Angerem v roce 1958. I v dnešní době se kamery stejného typu nazývají též Angerovy scintilační kamery. Původně analogové kamery jsou modernizovány a nahrazeny digitálními scintilačními kamerami, které se skládají ze scintilačního detektoru, mechanické části obsahující upevnění detektoru a vyšetřovacího posuvného stolu. Poslední částí je řídicí a akviziční počítač. Multidetektorové kamery na rozdíl od kamer Angerovy typu neobsahují scintilační krystal, ale mnoho miniaturních polovodičových detektorů, které převádí zachycené záření gama na elektrické impulsy, a ty jsou vedeny do obrazové matice v počítači. Rozlišení jednotlivých polovodičových (pixelových) detektorů dosahuje kolem 1 mm. Zorné pole těchto kamer je malé, a proto se v běžné klinické praxi nepoužívají. Scintilační detektor kamery Angerova typu je složitější než samotné scintilační sondy. Velké množství fotonásobičů nasedá na scintilační krystal a potřebnou elektroniku. Materiálem scintilačního krystalu je nejčastěji Na(I)TI (jodid sodný aktivovaný thaliem). Všechny tyto části jsou uloženy ve speciálním pouzdru, které je z velké části olověné, aby odstínilo ionizující záření z okolí mimo detekční strany krystalu, navíc je také světlotěsné a magneticky odstíněné pro fotonásobiče. Součástí detektoru jsou i ventilátory. Na spodní straně pouzdra scintilačního krystalu se nachází mechanismus pro upevnění kolimátoru (Šabata, 2019, str. 30).

Kolimátor

Kolimátor bývá umístěn těsně před scintilačním krystalem na straně k pacientovi a je konstruován tak, aby zachycoval fotony záření gama z nežádoucích směrů a propouštěl pouze fotony ze směru žádoucího. Nejčastěji využívané kolimátory jsou paralelní kolimátory, které jsou zhotoveny z olova. Paralelní kolimátory obsahují stovky otvorů, které jsou kolmé na povrch scintilačního krystalu a jsou schopné zachytit pouze

fotony gama, letící ve směru osy otvorů. Fotony letící z odlišných směrů jsou absorbovány v jednotlivých přepážkách. (Šabata, 2019, str. 29–30). Pro scintigrafická vyšetření se využívají i další typy kolimátorů vyrobené z olova. Rozdělují se podle aplikované energie záření gama při vyšetření, podle rozlišovací schopnosti, citlivosti a počtu otvorů (Koranda, 2014, str. 27). Dostatečná tloušťka přepážek je rozhodující u kolimátorů určených pro různé druhy záření. Mezi tyto typy kolimátorů se řadí LE (angl. Low Energy – určený pro nízké energie), ME (angl. Medium Energy – střední energie) a HE (angl. High Energy – vysoké energie). Ke kolimátorům děleným podle rozlišovací schopnosti patří LEAP (angl. Low Energy All Purpose – pro všeobecné použití a nízkou energii), LEHR (angl. Low Energy High Resolution – nízká energie, vysoké rozlišení) či LEUHR (angl. Low Energy Ultra High Resolution – pro nízkou energii s vysokým rozlišením). K dalším druhům kolimátorů patří konvergentní, fan beam a pinhole kolimátor, které se liší podle postavení a počtu otvorů. Kolimátor typu pinhole je specifický svým jedním otvorem. Jeho nízká citlivost je nahrazována vysokým rozlišením při zobrazení malých orgánů, a proto se nejčastěji uplatňuje pro scintigrafii štítné žlázy (Šabata, 2019, str. 31–33).

SPECT (jednofotonová emisní výpočetní tomografie)

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie je vyšetřovací metodou zajišťující trojrozměrný obraz distribuce radiofarmaka v těle pacienta. Na rozdíl od výpočetní tomografie (CT) vzniká výsledný obraz detekcí záření, které je emitované z těla pacienta. Kamera pro zobrazování SPECT se skládá obvykle ze dvou scintilačních detektorů, které jsou upevněny na kruhovém gantry. Během každého vyšetření se tyto detektory otáčejí kolem pacientova těla a zaznamenávají projekce pod různými úhly. Postavení detektorů se může lišit podle potřebného úhlu snímání. Při snímání pouze 180° svírají detektory mezi sebou úhel 90°. Naopak při 360° snímání bývají postavené proti sobě a každý z nich se při minimálně 60 projekcích otočí o 180°. Výsledný obraz vzniká pomocí počítačové rekonstrukce nasnímaných projekcí (Šabata, 2019, str. 77).

PET (pozitronová emisní tomografie)

Pozitronová emisní tomografie je další z metod nukleární medicíny. Principem PET vyšetření je detekce anihilačních fotonů vzniklých při interakci pozitronu s elektronem. Radiofarmakum ^{18}F -FDG emituje při radioaktivní přeměně z jádra kladné částice, tzv. pozitrony. Uvolněné pozitronové částice brzy interagují s elektrony v těle pacienta a dochází k anihilaci, tedy zániku páru elektron-pozitron za současného vzniku dvou

fotonů záření gama o energii 511 keV, letících opačným směrem (Šabata, 2019, str. 51–52). Detektory, které mají za úkol zachytit oba z těchto fotonů, jsou uspořádány ve tvaru prstence. Poloha místa anihilace lze lokalizovat na spojnici dvou protilehlých bodů na detektorech, na kterých byly ve stejný čas detekovány oba fotony. Výsledný trojrozměrný obraz distribuce radiofarmaka vzniká výpočetní rekonstrukcí koincidenčních událostí. Ve srovnání s planární scintigrafií či SPECT není při použití PET nutné použití kolimátorů, což zvyšuje citlivost této metody (Koranda, 2014, str. 31).

Hybridní systémy

Vzájemná kombinace SPECT a CT či PET a CT umožňuje funkční i anatomické zobrazení vyšetřované oblasti návazně za sebou. Přístroje obsahující detektory zachytávající gama záření z aplikovaného radiofarmaka a zároveň schopné provést CT vyšetření jsou nazývány jako hybridní (Koranda, 2014, str. 30). Přidané CT je často využíváno pouze jako low-dose (nízkodávkové) a bez aplikace kontrastních látek (Bajc, 2019, str. 2438). Ale i přes sníženou dávku rentgenového záření s sebou stále nese využití hybridních přístrojů i vyšší radiační zátěž pacienta (Koranda, 2014, str. 30). Pomocí konečného počítačového zpracování SPECT i CT vyšetření lze oba obrazy paralelně zobrazit, popřípadě je překrýt přes sebe a vytvořit jejich fúzi. Výhodou hybridních systémů je zejména současné získání funkčního i anatomického zobrazení vyšetřovaného orgánu (Šabata, 2019, str. 39). Pro personál provádějící vyšetření s využitím přístrojů SPECT/CT nebo PET/CT platí mimo běžné zásady radiační ochrany zákaz vstupu do kontrolovaného pásma během nahrávání CT (Šabata, 2019, str. 110).

3 Scintigrafie plic

Již přes 50 let je scintigrafie plic popsána jako jedna z metod pro diagnostiku plicní embolie. Za tuto dobu se tato metoda diagnostiky značně rozvinula, především užívaná radiofarmaka, přístrojové vybavení a zkušenosti lékařů (Pelletier-Galarneau, 2015, str. 1212). Dříve byla perfuzní scintigrafie přehlížena a nahrazována výpočetní tomografií, avšak v posledních letech se pro diagnostiku PE stala populární scintigrafická metoda SPECT (Sarv, 2020, str. 137, Liu, 2019, str. 733). Po zavedení této metody se při scintigrafii plic významně zredukoval počet nespecifických diagnóz. Spolu s použitím hybridních přístrojů a přidáním low-dose CT se tato modalita v některých případech navrhuje jako vhodnější než CTPA (Pelletier-Galarneau, 2015, str. 187–188).

Radiofarmaka pro scintigrafii plic

Ventilační scintigrafii lze provést s pomocí aerosolů či radioaktivních plynů. V případě aerosolů je pro provedení vyšetření důležitá velikost jejich částic, která je zásadní pro vychytání v plicních alveolech. Vhodná velikost částic se udává v rozmezí 0,1–0,5 μm . Při větší velikosti bývá tendence částic sedimentovat v oblasti trachey případně bronchů, a to má za následek zhoršení kvality zobrazení ventilace plic. Naopak pokud by byla velikosti těchto částic menší, než je vhodné, tedy do 0,1 μm , vychytávání radiofarmaka v alveolech by bylo nedostatečné a docházelo by ke zpětnému vydechnutí velkého množství těchto částic (Koranda, 2014, str. 85).

Pro zobrazení ventilace se využívá aerosolů značených $^{99\text{m}}\text{Tc}$, DTPA, Technegas, $^{81\text{m}}\text{Kr}$. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -dienthylene-tetraamino-pentaacetát) je vyráběn z vodného roztoku do podoby aerosolu o velikosti částic 1,2–2 μm a slouží k studii alveolo-kapilární permeability (Bajc, 2019, str. 2433). Nejznámějším, avšak v České republice téměř nevyužívaným arosolem, je Technegas (Koranda, 2014, str. 85). Jedná se o aerosolizovanou suspenzi pevných uhlíkových částic značených $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Velikost jednotlivých částic je v rozmezí 0,005–0,2 μm a jejich tendence ke shlukování vyžaduje nutnost jeho použití do 10 minut od výroby. Velmi malá velikost částic umožňuje chování radiofarmaka jako plynu až do periferie, kde se částice pomocí difuze ukládají v průduškách a alveolech. Jeho využití se uplatňuje u hodnocení pacientů s CHOPN (Bajc, 2019, str. 2433). V dnešní době se nejčastěji používaným radioaktivním plynem stal krypton, který je dodáván jako inertní radioaktivní plyn vytvořený z $^{81}\text{Rb} \rightarrow ^{81\text{m}}\text{Kr}$ generátoru. Jeho poločas rozpadu dosahuje 13 s. Krátká doba poločasu rozpadu

tohoto plynu výrazně snižuje radiační zátěž pacientů (Koranda, 2014, str. 19, Bajc, 2019, str. 2433). $^{81\text{m}}\text{Kr}$ se dostává do alveolů pomocí inhalace a spíše než expirací se krypton dostává z těla jeho rozpadem. Z toho důvodu lze hodnotit regionální ventilaci, která odpovídá aktivitě v ustáleném stavu. Nevýhodou využití tohoto radioaktivního plynu je krátký poločas rozpadu mateřského radionuklidu ^{81}Rb , který dosahuje času 4,6 hod, což vyžaduje rychlé provedení všech ventilačních vyšetření v co nejkratším čase (Bajc, 2019, str. 2433).

Vyšetření perfuze plicního parenchymu je založeno na principu mikroembolizace, tedy usazení drobných částic radiofarmaka v plicním řečišti. Proto je důležitou vlastností RF velikosti jejich částic, které musí být větší než průměr plicních kapilár, jenž má v rozmezí 7-10 μm , a průměr prekapilárních arteriol, který dosahuje přibližně 35 μm . V případě většího rozměru částic by mohlo dojít k jejich uvíznutí již v prekapilárním řečišti a zobrazení RF by bylo nehomogenní (Koranda, 2014, str. 84). Pro perfuzní vyšetření plic se intravenózně aplikují makroagregáty lidského albuminu značené $^{99\text{m}}\text{Tc}$ s průměrem 15–100 μm . Injekční podání $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA vede k jejich mikroembolizaci v oblasti plicních prekapilárních arteriol a kapilár. K hodnocení regionální perfuze je dostatečné množství aplikovaných značených částic 60 000, avšak obvyklé množství podávaných značených částic dosahuje 400 000 a vede k obstrukci malé části plicních cév. Pacientům se známou plicní hypertenzí, pravolevým srdečním zkratem, pneumonektomií nebo v případě jedné transplantované plíce se doporučuje podat množství 100–200 tisíc částic. Především u kojenců se počet částic redukuje podle jejich hmotnosti. Před samotnou aplikací je důležité ampuli s radiofarmakem protřepat, aby nedošlo k sedimentaci částic na jejím dně. Aplikace by měla trvat 30 s, aby došlo k podpoře distribuce látky během několika nádechů. Vyšetřovaný pacient by měl být po celou dobu inhalace radioaktivního plynu, během aplikace radiofarmaka a v čase snímání v poloze na zádech (Bajc, 2019, str. 2434). Injekčně podané radiofarmakum do periferní žíly se přes pravou srdeční síň a komoru dostává do plic, kde dochází k odfiltrování částic plicním kapilárním řečištěm. V plicním řečišti dochází k rozložení radionuklidem značených částic, které je přímo úměrné regionální plicní perfuzi. Z toho důvodu se oblasti se sníženou perfuzí označují jako fotopenické oblasti. Biologický poločas částic MAA dosahuje přibližně 4-6 hodin, následně částice podléhají mechanickému rozkladu (Koranda, 2014, str. 84).

3.1. Zobrazování perfuze a ventilace plic

Ventilačně-perfuzní scintigrafie plic je neinvazivní diagnostickou metodou, jejíž primární indikací je vyloučení embolizace do arterie pulmonalis a zobrazuje její funkční důsledky na plicní řečiště (Le Roux, 2019, str. 1597). Mimo vyloučení embolizace se mezi další indikace řadí také zhodnocení regionálních plicních funkcí před resekčními operacemi plic a diagnostika pravo-levého srdečního zkratu (Koranda, 2014, str. 85). Pouze perfuzní zobrazení se doporučuje v prvních 3 měsících těhotenství či při možné masivní embolizaci. Scintigrafické vyšetření plic je také využíváno pro posouzení další antikoagulační léčby po předchozí PE, hodnocení recidivy PE či pro posouzení poškození plic po PE (Bajc, 2019, str. 2436).

Metodika planární V/P scintigrafie spočívá v zobrazování plic statickými scintigramy ve 4 až 6 základních projekcích (přední, zadní a šikmé). Pro perfuzní vyšetření je nutné pacientovi aplikovat radiofarmakum v poloze na zádech, aby bylo zabráněno ovlivnění perfuze plic v důsledku rozdílného hydrostatického tlaku v různých částech těla. Při vyšetření plicní ventilace, které zvyšuje specifitu vyšetření, je pacient napojen na dýchací okruh obsahující radiofarmakum v plynné formě pomocí trojcestného ventilu (Koranda, 2014, str. 85-86).

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT) je metodou, která využívá segmentální anatomii plic k lokalizaci místa embolizace. Oproti planární scintigrafii plic je spojena s nižším počtem nediagnostických výsledků vyšetření (Bajc, 2019, str. 2435). Tomografické zobrazení V/P SPECT má vyšší specifitu diagnostiky PE než běžné planární zobrazení (Bajc, 2019, str. 2429). K dalšímu pozitivu patří i zlepšení prostorového rozlišení, což zamezuje překrývání jednotlivých perfuzních defektů jinými strukturami (Le Roux, 2014, str. 1958). Díky nepřítomnosti kontraindikací je V/Q důležitou metodou pro diagnostiku PE. Specifita V/P SPECT může být navíc zvýšena přidáním nízkodávkového CT vyšetření, a to především u pacientů s dalším plicním postižením (Bajc, 2019, str. 2429). Provedení low-dose CT poskytuje navíc i dodatečné morfologické informace o změnách v plicním řečišti za současné snížené radiační zátěže (Koranda, 2014, str. 85). V/P SPECT je proto doporučováno k přesnému určení výskytu PE i v případech jiných plicních onemocnění, které daný pacient má (Bajc, 2019, str. 2429). Při V/P SPECT začíná vyšetřovací protokol nejdříve nahráváním ventilace, na kterou okamžitě navazuje perfuzní sken. Aktivita radiofarmak pro ventilaci a perfuzi je stanovená v rozmezí 25-30 MBq a 140-160 MBq. Pro

scintigrafii plic se využívá general-purpose kolimátor s maticí 64x64 a nahrávání zajišťuje dvouhlavá gamakamera s 60-64 rotačními kroky, celkem v 120-128 projekcích. Doba jedné projekce by měla trvat 10 s pro ventilaci a 5 s pro perfuzní zobrazení. Tím lze docílit minimální radiační zátěže za současné odpovídající kvality obrazu. Standardní software umožňuje vytvoření obrazu v koronární, sagitální a transverzální projekci, ale také zobrazení 3D rotujících snímků. Pro zhodnocení defektů v perfuzi a ventilaci je důležité přesné zarovnání obou typů snímků. (Bajc 2019, str. 2434). U planárního zobrazení plic může dojít k přehlédnutí přítomnosti či rozsahu perfuzního defektu v důsledku normální perfuze embolizovaných oblastí neboli prosvítání z normálních oblastí. Tomuto problému je možnost se vyhnout využitím V/P SPECT a trojrozměrné vizualizace (Bajc, 2019, str. 2436).

3.2. Interpretace výsledků vyšetření

Nejznámější indikací V/P scintigrafie plic je podezření na PE. Embolie do a. pulmonalis je zobrazována pomocí perfuzní scintigrafie plic či případně její kombinací s ventilační scintografií plic. Nález perfuzního defektu může znamenat nejen výskyt PE, ale také může poukazovat na jiné primárně plicní onemocnění. V těchto případech dochází k hypoventilaci určité oblasti plíce se současnou hypoperfuzí (asthma bronchiale) (Koranda, 2014, str. 86-87). Plicní embolie vede k defektům perfuze v oblasti odpovídající regionu zásobovaným tepnou, která je uzavřena. Může tak dojít k defektu perfuze v celé plíci, laloku, segmentu či subsegmentu. Platí, že bronchiální oběh zajišťuje životaschopnost embolem poškozené části a ventilace zůstává nedotčena (Bajc, 2019, 2435). V důsledku toho jsou při embolizaci do a. pulmonalis nacházeny perfuzní defekty se současnou absencí defektů ventilace. Pro PE je charakteristický jejich segmentální charakter, jenž představuje jednotlivé segmenty plic. Rozsah defektů plicní perfuze může být velkého či malého charakteru. V případě defektu velkého rozsahu je postiženo minimálně 75 % až celý segment, nebo u postižení menšího rozsahu pod 25 % segmentu (Koranda, 2014, str. 86). Doporučená kritéria pro diagnostiku PE pomocí V/P scintigrafie plic definují potvrzenou PE při nálezů rozdílu mezi ventilací a perfuzí jednoho segmentu nebo dvou podsegmentů plic (klínovité defekty). V případě nálezů jednoho subsegmentálního defektu nejsou splněna daná diagnostická kritéria pro PE, ale výsledek by měl být hlášen (Bajc, 2019, str. 2436).

Celková jednostranná nepřítomnost perfuze při současné zachovalé ventilaci v jedné plicí poukazuje na možnou přítomnost jiných patologií než PE. Po CT vyšetření tak lze odhalit například nádor, disekci aorty či jiné mediastinální patologické procesy (Bajc, 2019, str. 2436).

V případech, kdy není možné v daném okamžiku spolu s perfuzní scintigrafií plic provést i scintigrafii ventilační, je ke zhodnocení nálezu možné použít rentgenový snímek plic či low-dose CT. Zastřetí na RTG snímku plic spíše odpovídá nálezu pneumonie, a proto se pravděpodobnost PE považuje za nízkou (Koranda, 2014, str. 87).

Rozsah PE určuje riziko recidivy dalšího embolického postižení plic. Výpočet kvantifikace PE spočívá v počtu segmentů a podsegmentů s perfuzními defekty, které lze hodnotit pomocí procentuálního zastoupení z celkového plicního parenchymu. Objem segmentů a podsegmentů je u každého pacienta odlišný, což znamená, že výpočet kvantifikace je pouze přibližný. Stejně jako posouzení perfuze lze hodnotit i oblasti s ventilačními defekty, kde je výsledkem zhodnocení celkové funkčnosti plic (Bajc, 2019, str. 2436).

V/P SPECT lze hodnotit jako ideální vyšetřovací metodu pro sledování PE, protože s její pomocí dochází k rozpoznání malých i velkých embolií a umožňuje to zhodnocení zlepšení či progresi trombotického postižení. Velkou výhodou je navíc nízká radiační zátěž, což umožňuje opakované kontroly. Z tohoto důvodu je považována za vhodnou metodu pro opakované celoživotní sledování pacientů (Bajc, 2019, str. 2438).

3.3. Srovnání V/P SPECT s CT angiografií plic

CT angiografie plicnice je přesnou a rychlou metodou diagnostiky pouze s nízkou mírou neprůkazných výsledků. Její výhodou je primární poskytnutí morfologických informací o plicní tkáni, což v případě negativního nálezu PE může vést i ke stanovení správné diagnózy. Planární V/P scintigrafie plic je relativně levnou a nijak pro pacienta nenáročnou metodou pro diagnostiku PE. Přes tato pozitiva je však i metodou méně specifickou ve srovnání s V/P SPECT, která má nejnižší procento nedignostických testů (Stavros V. Konstantinides, 2020, str. 14).

Jedním z hlavních rozdílů mezi V/P SPECT a CT je dostupnost přístrojů v jednotlivých nemocnicích a jejich provoz. Zatímco je vyšetření CTPA běžně dostupné téměř v každé nemocnici 24 hodin denně, V/P SPECT bývá v nemocnicích dostupné méně. CTPA je upřednostňována u hemodynamicky nestabilních pacientů s plicní

embolií. Proveditelnost tohoto vyšetření je zúžena na pacienty, kterým je možné podat intravenózně jodovou kontrastní látku bez závažných pozdních reakcí. Podání kontrastních látek může vést k závažným alergickým reakcím, tyreotoxikóze či renálnímu selhání. Z tohoto důvodu je CTPA kontraindikováno pro pacienty se známou předešlou alergickou reakcí na kontrastní látku či s poruchami funkce štítné žlázy nebo s poruchami funkce ledvin. Proveditelnost V/P SPECT dosahuje oproti CTPA téměř 100 % a míra nedignostických vyšetření se pohybuje v rozmezí 1–4 %, u CTPA 4–10 %. Míra citlivosti u V/P SPECT opět dosahuje lepších výsledků než u CTPA, avšak specifčnost obou vyšetřovacích metod je téměř shodná. Dalším rozdílem jsou dosažené dávky záření. Důležitým cílem diagnostiky PE je určování vyšetřovacích metod s minimální radiční zátěží pacienta, při co nejlepší kvalitě obrazu a diagnostické přesnosti. Při určených aktivitách záření jednotlivých radiofarmak pro V/P SPECT dosahuje efektivní dávka záření 1,2-2 mSv, u CTPA 4-20 mSv. U mladých žen je důležitým faktorem i absorbovaná dávka záření v prsu, která je běžně u CTPA 12–44 mGy. Nahrazením CTPA V/P SPECT je tato absorbovaná dávka pouze 0,8 mGy. Lze tedy srovnat i množství absorbované dávky, která je důležitá nejen pro prsní tkáň u mladých žen, ale i v průběhu těhotenství na plod (Bajc, 2019, str. 2439–2440).

Metoda V/P SPECT bývá zlatým standardem v diagnostice Chronické plicní embolie a ukazuje i svoji vynikající citlivost při diagnostice chronické plicní hypertenze. Jako hlavní výhoda V/P SPECT je udáváno rozpoznání PE i přes primární plicní onemocnění pacienta, což je pomocí CTPA obtížné (Bajc, 2019, str. 2441).

Závěr

Plicní embolie patří mezi známé závažné obstrukční postižení cévního zásobení plic, které může vyústit v život ohrožující stav. K jejímu vzniku dochází v nejčastějších případech při uvolnění trombu z hlubokého žilního systému dolních končetin při hluboké žilní trombóze. Cílem této bakalářské práce bylo sumarizovat dohledané informace o plicní embolii a metodách její diagnostiky pomocí radionuklidů, které jsou využívány v nukleární medicíně. Práce je rozdělena do tří dílčích cílů.

Prvním dílčím cílem bylo sumarizovat dohledané aktuální poznatky o plicní embolii, její diagnostice a léčbě. Vlastním procesem embolizace se označuje uvolnění trombu z určitého místa vzniku a jeho zanesení do a. pulmonalis či do některé z jejích větví. Při vzniku krevní sraženiny a jejím uvolnění, což je nejčastější příčina embolizace do plic, se uplatňuje široké spektrum rizikových faktorů, které následně hrají významnou roli při diagnostickém postupu. Avšak i přes všeobecnou znalost tohoto onemocnění je diagnostika z důvodu nespecifičnosti symptomů obtížná. Následná léčba plicní embolie zahrnuje především podávání antikoagulačních léčiv. Dílčí cíl byl dosažen.

Druhým dílčím cílem bylo sumarizovat dohledané aktuální poznatky o principech v nukleární medicíně, zejména o teoretických základech a přístrojovém vybavení potřebném pro správné provedení jednotlivých vyšetření. Nukleární medicína je oborem, který je založen na podávání radionuklidem značených preparátů za cílem terapie i diagnostiky, při nichž dochází k jejich akumulaci v určitých orgánech, což v případě diagnostiky vede k zobrazení jejich distribuce. Dílčí cíl byl dosažen.

Třetím dílčím cílem bylo sumarizovat dohledané aktuální poznatky o scintigrafickém vyšetření plic a jeho výhodách oproti jiným diagnostickým postupům v rámci diagnostiky plicní embolie, která se v tomto oboru zobrazuje pomocí ventilačně-perfuzní scintigrafie plic. Specifickou podmínkou správného scintigrafického vyšetření plic je výběr velikosti částic aplikovaných radiofarmak. Embolizace do a. pulmonalis se při scintigrafickém vyšetření zobrazuje jako defekt perfuze v segmentu plic zásobovaném postiženou tepnou. Velkým přínosem radionuklidové diagnostiky plicní embolie je možnost provedení low-dose CT po samotném scintigrafickém vyšetření. Přínosem ventilačně-perfuzní scintigrafie plic je možnost jejího použití u pacientů s kontraindikací k CT angiografii plic, zejména u pacientů s alergií na jodovou kontrastní látku, s renální insuficiencí či u těhotných pacientek. Dílčí cíl byl dosažen.

Tromboembolická obstrukce plicního řečiště je v nemocnicích diagnostikována denně, a proto by tato přehledová bakalářská práce mohla být přínosem pro studenty i absolventy zdravotnických oborů, zejména pro budoucí radiologické asistenty, kteří se s daným nálezem budou potkávat v rámci své práce nejen na odděleních nukleární medicíny, ale i radiodiagnostiky. V dalším případě může být tato bakalářská práce využitelná pro management ve zdravotnických zařízeních či pro výzkumnou činnost.

Referenční seznam

BAJC, Marika, Carl SCHÜMICHEN, Thomas GRÜNING, et al., 2019. EANM guideline for ventilation/perfusion single-photon emission computed tomography (SPECT) for diagnosis of pulmonary embolism and beyond. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 46(12), 2429-2451 [cit. 2021-11-03]. ISSN 16197070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-019-04450-0

HLÁSENSKÝ, J., Z. MIHALOVÁ, J. ŠPINAR a O. LUDKA, 2015. Scoring systems for venous thromboembolic disease. *Kardiologická Revue* [online]. 17(2), 126 - 130 [cit. 2021-11-09]. ISSN 18018653.

CHONG, Cheryl Zhiya, Edgar Lik Wui TAY, Ching Hui SIA a Kian Keong POH, 2021. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a review. *SINGAPORE MEDICAL JOURNAL* [online]. 62(7), 318-325 [cit. 2022-01-06]. ISSN 00375675. Dostupné z: doi:10.11622/smedj.2021089

INDRA, Tomáš, 2014. Plicní embolie – stále podceňovaná diagnóza v ambulantní praxi. *Interní medicína pro praxi*. 16(5), 184-188. ISSN 1212-7299. Dostupné také z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2014/05/03.pdf>

KINCL, Vladimír, Adéla DROZDOVÁ, Roman PANOVSÝ, Igor SUŠKEVIČ a Milan KAMÍNEK, 2014. Zobrazovací metody v diagnostice a stratifikaci rizika akutní plicní embolie. *Intervenční a akutní kardiologie*. 13(1), 17-22. ISSN 1213-807X. Dostupné také z: <http://www.iakardiologie.cz/archiv.php>

KLOK, F. A., M. DELCROIX a H. J. BOGAARD, 2018. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension from the perspective of patients with pulmonary embolism. *Journal of Thrombosis* [online]. 16(6), 1040-1051 [cit. 2022-01-06]. ISSN 15387933. Dostupné z: doi:10.1111/jth.14016

KORANDA, Pavel, 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.

LE ROUX, Pierre-yves, Amir IRAVANI, Jason CALLAHAN, et al., 2019. Independent and incremental value of ventilation/perfusion PET/CT and CT pulmonary angiography for pulmonary embolism diagnosis: results of the PECAN pilot study. *European Journal*

of Nuclear Medicine [online]. 46(8), 1596-1604 [cit. 2021-11-03]. ISSN 16197070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-019-04338-z

LE ROUX, Pierre-yves, Xavier PALARD, Philippe ROBIN, et al., 2014. Safety of ventilation/perfusion single photon emission computed tomography for pulmonary embolism diagnosis. *European Journal of Nuclear Medicine* [online]. 41(10), 1957-1964 [cit. 2021-11-03]. ISSN 16197070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-014-2763-1

LIU, Jui a George LARCOS, 2019. Radionuclide lung scans for suspected acute pulmonary embolism: Single photon emission computed tomography (SPECT) or hybrid SPECT/CT?. *JOURNAL OF MEDICAL IMAGING AND RADIATION ONCOLOGY* [online]. 63(6), 731-736 [cit. 2021-11-03]. ISSN 17549477. Dostupné z: doi:10.1111/1754-9485.12951

OPITZ, I. a S. ULRICH, 2018. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Swiss medical weekly* [online]. 148, w14702 [cit. 2022-01-06]. ISSN 14243997. Dostupné z: doi:10.4414/smw.2018.14702

PELLETIER-GALARNEAU, M., M. S. HOFMAN, L. S. ZUCKIER, P. ROACH, J. P. VUILLEZ, R. J. HICKS a P. Y. SALAUN, 2015. Pulmonary Scintigraphy for the Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism: A Survey of Current Practices in Australia, Canada, and France. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine* [online]. 56(8), 1212-7 [cit. 2021-11-03]. ISSN 15355667. Dostupné z: doi:10.2967/jnumed.115.157743

ROKYTA, Richard, Martin HUTYRA a Pavel JANSKA, 2015. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. Summary document prepared by the Czech Society of Cardiology. *Cor et Vasa* [online]. 57(4), e275 [cit. 2021-11-03]. ISSN 00108650. Dostupné z: doi:10.1016/j.crvasa.2015.05.009

ROKYTA, Richard, Martin HUTYRA a Pavel JANSKA, 2020. Doporučené postupy Evropské kardiologické společnosti (ESC) pro diagnostiku a léčbu akutní plicní embolie, verze 2019. Stručný přehled vypracovaný Českou kardiologickou společností. *Cor et Vasa*. 62(2), 154-182. ISSN 0010-8650. Dostupné z: doi:10.33678/cor.2020.016

RUBINI, G., C. FERRARI, A. CIMINO, M. FANELLI, C. ALTINI, A. GAUDIANO, A. G. NAPPI a V. LAVELLI, 2019. How often suspected pulmonary embolism is diagnosed

and its main diagnostic characteristics, in an emergency nuclear medicine service? Four years experience. *Hellenic journal of nuclear medicine* [online]. 22(3), 187-193 [cit. 2021-09-27]. ISSN 17905427. Dostupné z: doi:10.1967/s002449911054

ŠABATA, Ladislav, 2019. *Nukleární medicína - technické základy: přístrojová a výpočetní technika v nukleární medicíně, základy radiofarmak a specifika radiační ochrany v nukleární medicíně*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-734-7.

SARV, Fatemeh, Saeed FARZANEHFAR a Mehrshad ABBASI, 2020. The diagnostic accuracy of prospective investigative study of acute pulmonary embolism diagnosis criteria for the detection of acute pulmonary thromboembolism in acutely ill patients. *World Journal of Nuclear Medicine* [online]. 19(2), 137-140 [cit. 2021-11-03]. ISSN 14501147. Dostupné z: doi:10.4103/wjnm.WJNM_64_19

STAVROS V. KONSTANTINIDES, 2020. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Российский кардиологический журнал* [online]. 25(8) [cit. 2021-11-03]. ISSN 15604071. Dostupné z: doi:10.15829/1560-4071-2020-3848

TANABE, Y., L. LANDERAS, A. GHANDOUR, S. PARTOVI a P. RAJIAH, 2018. State-of-the-art pulmonary arterial imaging - Part 1. *VASA. Zeitschrift fur Gefasskrankheiten* [online]. 47(5), 345-359 [cit. 2021-03-24]. ISSN 03011526. Dostupné z: doi:10.1024/0301-1526/a000708

TUREČEK, Jan, 2020. Akutní plicní embolie. *Cor et Vasa Case Reports. Antikoagulační léčba v běžné klinické praxi - jak na to*. 3(Spec.), 15-18. ISSN 2571-0648. Dostupné také z: <https://www.cksonline.cz/coretvasa-case-reports/clanky.php?pid=971&idAkce=-1>

Seznam zkratek

- APE – akutní plicní embolie
- BPA – balónková plicní angioplastika
- CT – výpočetní tomografie
- CTEPH – chronická tromboembolická plicní hypertenze
- CTPA – CT plicní angiografie
- DUS – duplexní žilní ultrasonografie
- ECHO – echokardiografie
- HE – high energy
- HŽT – hluboká žilní trombóza
- CHOPN – chronická obstrukční plicní nemoc
- KPR – kardiopulmonální resuscitace
- LE – low energy
- LEAP – low energy all purpose
- LEHR – low energy high resolution
- LEUHR – low energy ultra high resolution
- LKS – levá komora srdeční
- LMWH – low molecular weight heparin (nízkomolekulární heparin)
- ME – medium energy
- MDCTA – multidetektorová CT angiografie
- NOAC – new oral anticoagulants
- PE – plicní embolie
- PEA – plicní endarterektomie
- PET – pozitronová emisní tomografie
- PKS – pravá komora srdeční
- RF – radiofarmakum
- SPECT – jednofotonová emisní výpočetní tomografie
- TEN – tromboembolická nemoc
- UFH – unfractionated heparin (nefrakcionovaný heparin)
- VKA – antagonisté vitamínu K
- V/P – ventilačně-perfuzní