

## přehledový článek

# Rok se zobrazováním onemocnění COVID-19, od tomografie výpočetní k pozitronové emisní tomografii – pocta k 125. výročí objevení radioaktivity Henrim Antoinem Becquerelem

*One year with the imaging of COVID-19, from computed tomography to positron emission tomography – a tribute to 125<sup>th</sup> anniversary of radioactivity discovery by Henri Antoine Becquerel*

Jiří Ferda, Eva Ferdová, Martin Vítovec, Filip Heidenreich, Jan Baxa, Hynek Mírka

Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

## Hlavní stanovisko práce

Manifestace onemocnění COVID-19 v akutní, subakutní i chronické fázi vyvolává polymorfní obraz ve výpočetní tomografii i v pozitronové emisní tomografii s použitím <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglukózy, znalost jeho obrazu přispívá k možnostem diferenciální diagnostiky jiných onemocnění, a to včetně koexistence patologických stavů nezávisle na sobě.

## SOUHRN

Ferda J, Ferdová E, Vítovec M, Heidenreich F, Baxa J, Mírka H. Rok se zobrazováním onemocnění COVID-19, od tomografie výpočetní k pozitronové emisní tomografii – pocta k 125. výročí objevení radioaktivity Henrim Antoinem Becquerelem

Přehledové sdělení s obrazovým přehledem má za cíl ukázat na rozličné manifestace onemocnění COVID-19 v obrazu výpočetní tomografie a pozitronové emisní tomografie s podáním <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglukózy u postižení plicní tkáně, trávicí soustavy, kardiovaskulárního systému a centrální nervové soustavy.

**Klíčová slova:** <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglukóza, COVID-19, pozitronová emisní tomografie, computed tomography, PET/MR.

## Major statement

Manifestation of the COVID-19 disease in acute, subacute, and chronic phases causes polymorphic picture both in computed tomography and in positron emission tomography with the application of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose, the knowledge of its manifestation support to the differential diagnostics the other diseases including to coexistence of independent diseases.

## SUMMARY

Ferda J, Ferdová E, Vítovec M, Heidenreich F, Baxa J, Mírka H. One year with the imaging of COVID-19, from computed tomography to positron emission tomography – a tribute to 125<sup>th</sup> anniversary of radioactivity discovery by Henri Antoine Becquerel

The review with the pictorial essay has aimed to show the different manifestations of COVID-19 disease in the computed tomography imaging and during the imaging of positron emission tomography with the application of <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose, the imaging of the lung parenchyma, gastrointestinal tract, cardiovascular system and central nervous system are presented.

**Key words:** <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose, COVID-19, positron emission tomography, computed tomography, PET/MRI.

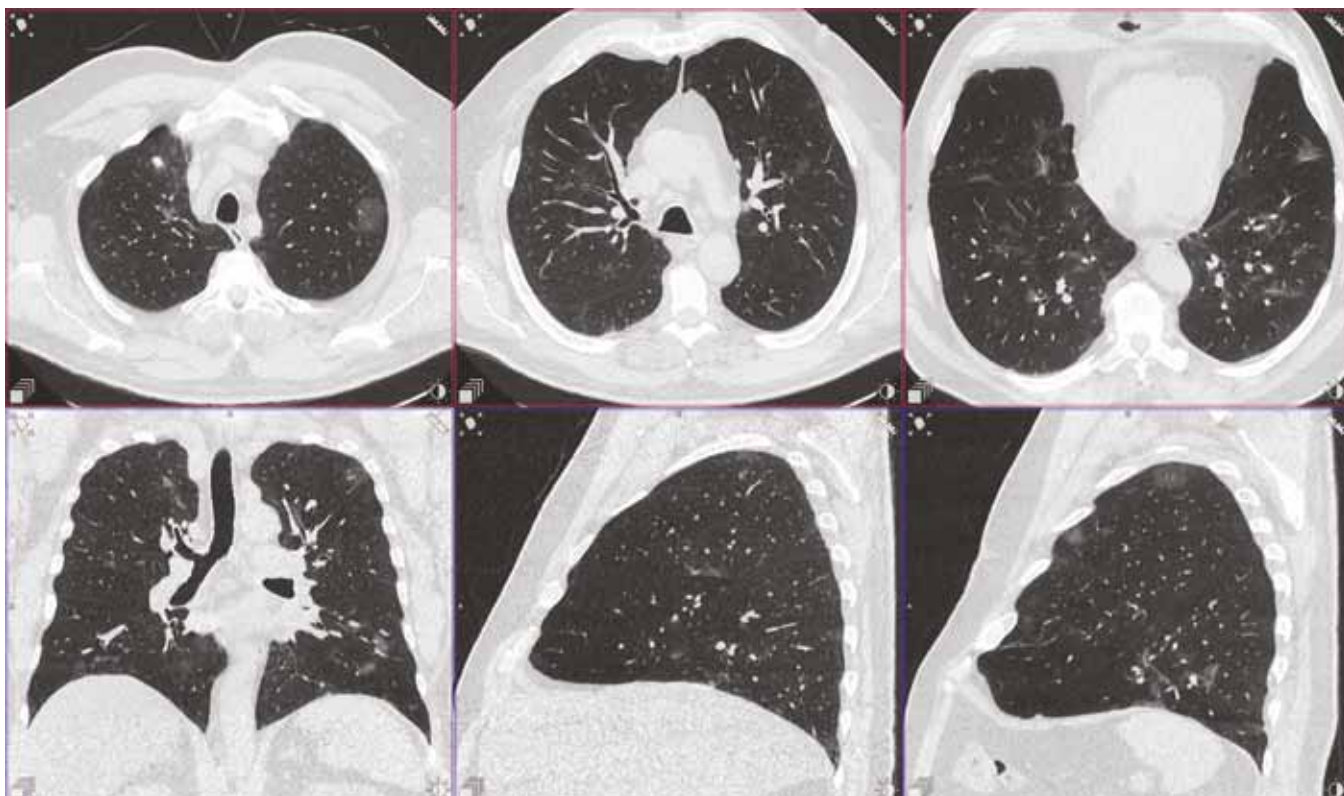
Přijato: 3. 3. 2021

## Korespondenční adresa:

prof. MUDr. Jiří Ferda, Ph.D.  
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN  
Alej Svobody 80, 306 40 Plzeň  
e-mail: ferda@fnplzen.cz

Konflikt zájmů: žádný.

Podpořeno projektem MZ ČR Konceptní rozvoj výzkumné instituce 00669806 – FN Plzeň a projektem Univerzity Karlovy v Praze Progress q39.



**1** Peribronchiální a subpleurální měkké infiltráty u nemocného s lehkým průběhem COVID-19 s prokázanou britskou mutací viru SARS-CoV-2 – v mediastinu zmnožené uzliny, pozitivní PCR test v den vyšetření CT

**Peribronchial and subpleural soft infiltrates of ground glass opacities in patient with the mild symptoms of the British variant of SARS-CoV-2 – multiple lymph nodes in mediastinum, positive PCR at the day of the CT**

## ÚVOD

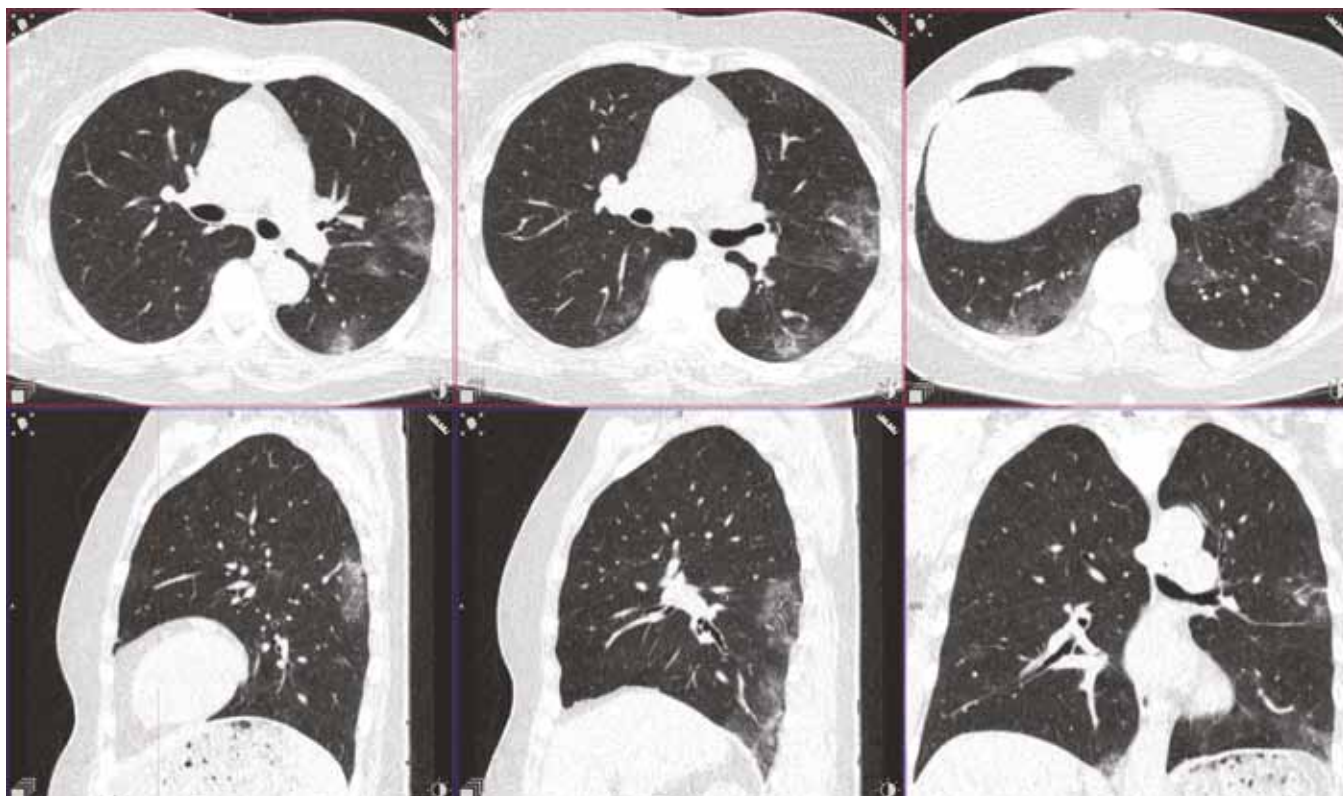
Na začátku března 2020 se česká populace setkala poprvé s výskytem onemocnění způsobené tehdy novým koronavirem, nazvaným SARS-CoV-2. Onemocnění nazvané COVID-19 se sice v české populaci setkala s naprosto nepřipraveným prostředím, významně vážla laboratorní diagnostika z důvodu nedostatků základních kapacit pro PCR testování, ale v radiologické obci jsme rychle s pomocí kolegů intenzivistů připravili jednoduchý návod jak provádět vyšetření. V době prvního setkání s onemocněním nebyly známy všechny skutečnosti chování nového koronaviru ani způsob, jakým se onemocnění vyvíjí. Vycházeli jsme z prvních reportů čínských anebo amerických radiologů o využití CT v detekci a rozpoznání COVID-19 pneumonie (1). Přes skepsi, která i mezi radiology byla k CT vyšetřování značná, se vyšetření výpočetní tomografií ujala a stala se nedílnou součástí diagnostických postupů nového onemocnění. S postupným počtem vyšetřených případů se začaly objevovat zkušenosti s polymorfní

manifestací onemocnění, která má často velmi náhodnou asociaci s tíží klinického obrazu na začátku vyšetření. Objevuje se také skórovací systém hodnocení tíže postižení plicní tkáně nebo využití postupů umělé inteligence (2). Během vývoje pandemie se postupně začali objevovat nemocní, kde dominantními projevy onemocnění nebylo již postižení vlastního plicního parenchymu, ale plicní embolie (3, 4). Dalším krokem evoluce vyšetřování u COVID-19 se stalo vyšetření plicnice pomocí CT angiografie.

Zatímco jarní vlna epidemie v roce 2020 přinesla velké množství vyšetření z důvodu diferenciální diagnostiky a docházelo k mísení nemocných s různými symptomy a diagnózami s výskytem bakteriálních zánětů typu pneumonie a bronchopneumonie, případně atypických pneumonií virových i bakteriálních, v době druhé vlny epidemie na podzim roku 2020 již dominantními nálezy u vyšetření při podezření na COVID-19 byla onemocnění způsobená právě SARS-CoV-2. Odlišnou dynamiku vývoje a také odlišný typ manifestace onemocnění mají případy ve třetí vlně

epidemie. Její charakteristikou na západě Čech je naprostá dominance britské varianty viru, která s sebou dle empirických pozorování přináší i jiný vzhled nálezů v plicní tkáni – často s doprovodnými postiženími uzlin anebo gastrointestinálních příznaků (5).

Vzhledem k rozsahu zasažení české populace infekcí SARS-CoV-2, je pravděpodobnost zachytu onemocnění COVID-19 při vyšetření zobrazovacími metodami velmi vysoká jak v době floridní infekce, tak i ve fázi subakutní a chronické (6). Pozitronová emisní tomografie v kombinaci s výpočetní tomografií (PET/CT) umožňuje kombinovat morfologické zobrazení tkání se zobrazením úrovně jejich metabolismu, jelikož je metoda využívána k poměrně velkému počtu vyšetření u nemocných s chronickými, především onkologickými onemocněními, je možnost zachytu onemocnění při PET/CT relativně vysoká (7). Zachyt může být náhodný, ale i v příčinné souvislosti s obtížemi nemocného. Spektrum náhodně nalezených postižení je od plicních nálezů po výskyt trombóz v méně obvyklých



**2** Přetrvávající kašel po zcela asymptomatickém průběhu onemocnění COVID-19, vyšetření s odstupem 14 dnů od setkání s nákazou britskou mutací viru SARS-CoV-2 – stále patrné infiltráty typu mléčného skla, low-dose vyšetření pomocí photon-counting CT s ultravysokým rozlišením  
**The persistence of ground glass opacities 14 days after the asymptomatic infection of the British variant of SARS-CoV-2 – photon-counting CT**

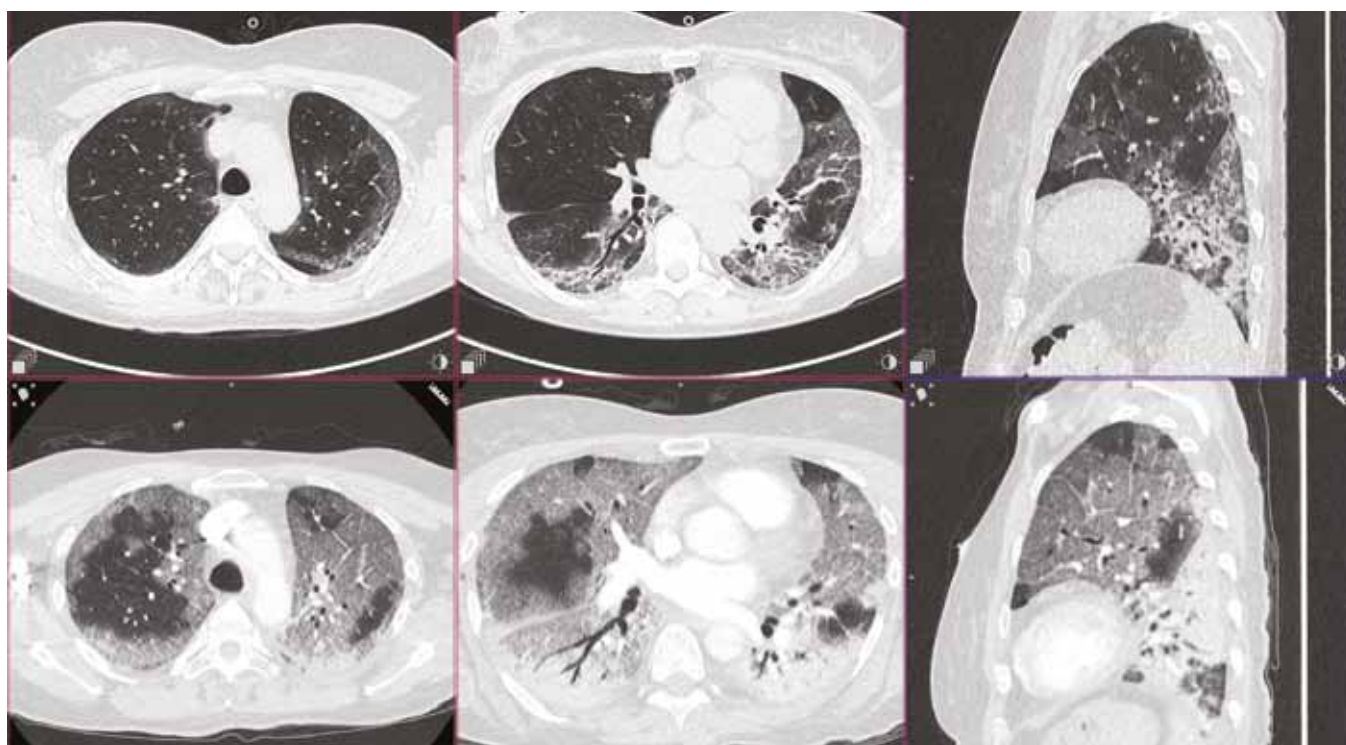
lokalizací. PET/CT s podáním  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy je metodou velice vhodnou k zobrazování zánětlivých procesů. Zvláštní skupinou nemocných indikovaných k PET/CT jsou nemocní, kteří mají chronické potíže charakteru chronického inflamatorního syndromu po proděláním COVID-19 (8, 9). Při vyšetření se pak jedná o rozsáhlé plicní postinflamatorní fibrotizující procesy, mimoplicní postižení se vyskytují od aktivace kostní dřeně přes postižení trávicí trubice, zánětlivá onemocnění cévních stěn (10) až po postižení lymfatického systému nebo centrální nervové soustavy. Obraz výpočetní tomografie přispívá především k diagnostice onemocnění v plicní tkáni ve spektru od akutní pneumonie s dominantním postižením typu opacit mléčného skla, přes rozvíjející se nebo rozvinutou intersticiální infiltraci, po rozvoj subakutního nebo chronického fibrotizujícího procesu s postižením připomínajícím intersticiální plicní fibrózu nebo organizující pneumonii. Je-li přítomna vysoká úroveň akumulace  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy, je dána především přítomností aktivovaných

buněčných elementů, celulárními vektory zánětu. Těmito metabolicky aktivními buňkami jsou aktivované monocyty, lymfocyty a fibroblasty. Zvýšená metabolická aktivita buněčných vektorů zánětu je dána především zvýšenou aktivitou glukózových přenašečů, ale také i zvýšenou aktivitou hexokinázy. Na rozdíl od neoplastických tkání není v zánětlivé buněčné populaci přítomen deficit aktivity glukózo-6-fosfatázy. Míra zvýšené akumulace je ovšem i závislá na některých faktorech vnitřního prostředí tkání, zejména mikrocirkulace. Jelikož onemocnění COVID-19 vyvolává významné změny v cévních stěnách kapilárního řečiště a také dává podnět ke vzniku mikrotrombóz, nemusí být výše metabolické aktivity v relaci se závažností poškození tkání (11, 12). Na rozdíl od nádorové tkáně se neuplatňuje v metabolismu tkání při hypoxii Warburgův fenomén, hypoxická tkáň obvykle tedy u COVID-19 není metabolicky vysoce aktivní, zvýšení metabolismu bývá relativně malé, ve studiích se udává od  $\text{SUV}_{\text{max}}$  4,5 po výjimečné zvýšení na  $\text{SUV}_{\text{max}}$  16 (11, 12).

Obrazy postižení trávicí trubice připomíná více či méně ischemii střeva, časté mohou být i zánětlivé postižení typu pseudomebranózní kolitidy, zánětlivé změny mohou být velmi rozsáhlé, podobně jako u plicního postižení však nemusí být úroveň akumulace shodná s úrovní závažnosti postižení. Z vaskulárních změn jsou známy případy rozsáhlých plicních embolií z CT obrazu, při vyšetření hybridních jde ale i o výskyt bezpříznakových rozsáhlých trombóz systémových žil. Relativně méně častými jsou známky klinické projevy, které dominují jako systémová vaskulitida (10). Samostatnou kapitolou jsou komplikace infekce virem SARS-CoV-2 v centrální nervové soustavě (13–15), hybridní zobrazení je vlastně poslední možností jak odlišit funkční změny nervové tkáně, které jsou přítomny u jinak jen diskretních nebo zcela absentujících morfoloických známek postižení mozkové tkáně (16).

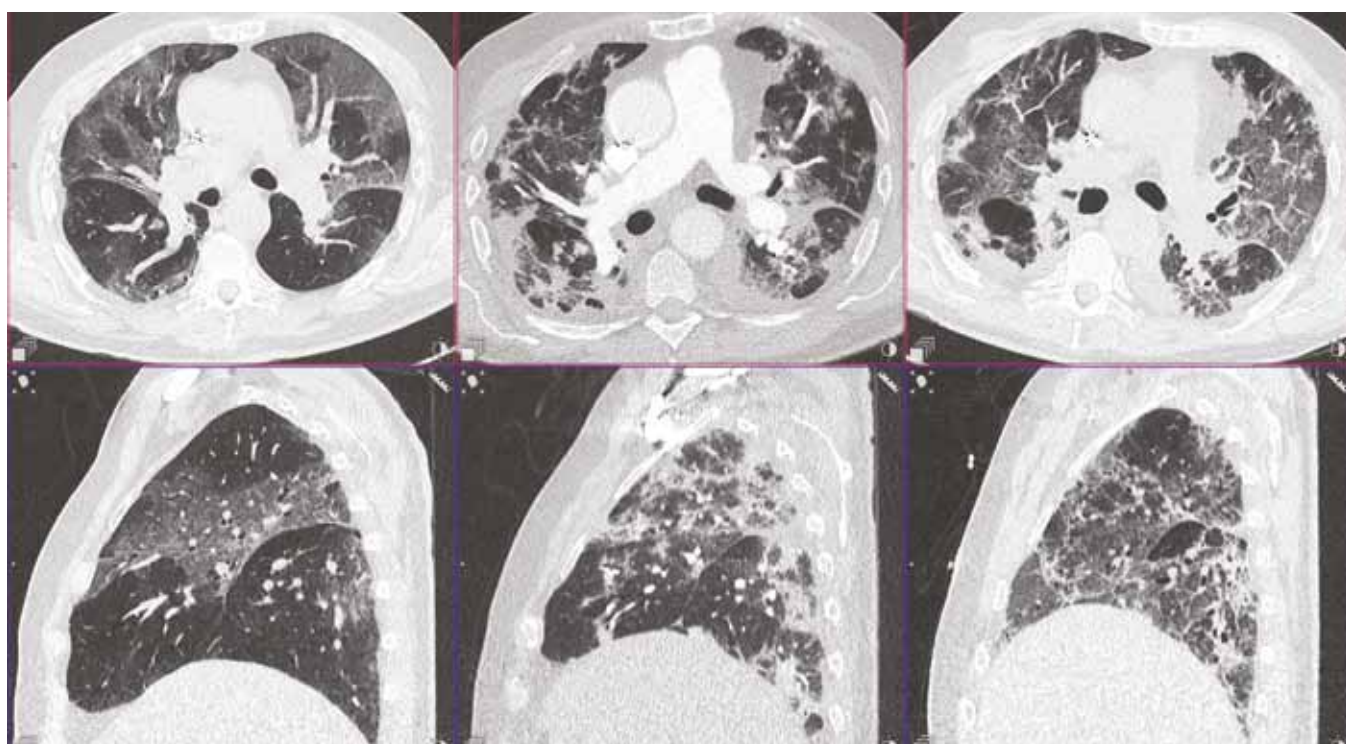
Následující přehledové sdělení s obrazovým přehledem slouží k demonstraci možných nálezů u onemocnění COVID-19, v textu konfrontujeme





**3** Těžký průběh onemocnění COVID-19 s britskou mutací viru SARS-CoV-2 s fatálním koncem u imunokompromitované nemocné středního věku – nákaza v časně době po druhé dávce očkování. Horní řada obrazů vyšetření v době přijetí na standardní lůžko, dolní řada o 9 dní později těsně před intubací s progresí nálezů do splyňujících intraalveolárních infiltrátů, po dalších 14 dnech nemocná umírá.

**The critical course of the infection with the British variant of SARS-CoV-2 in fifty years old immunocompromised female near after second dose of vaccination.** The upper row shows the examination at the day of hospitalization with dyspnea, lower row shows the progression of the lung infiltration nine days later before the need of intubation, the woman died 14 days later.



**4** Série tří vyšetření s COVID-19 s infekcí původní varianty viru SARS-CoV-2 u muže 75 let s kardiostimulací s fatálním průběhem onemocnění. V prvním sloupci vyšetření při prvním přijetí nemocného do nemocnice s nálezem rozsáhlých opacit typu mléčného skla, ve druhém sloupci vyšetření s odstupem 14 dnů po přechodné dimisi s negativitou PCR při zhoršení potíží, poslední vyšetření při finálním progresi dechové tísně, následující den nemocný umírá.

**The series of three CT examinations with COVID-19, with the original variant of the virus, 75 years old male patient.** Left column shows the examination during the dyspnea in the acute onset of disease, middle column displays the state after 14 days delay, when the patient was readmitted to the hospital when the patient had negative PCR and the recurrent dyspnea, the patient died one week later, the examination a day before death is presented in the right column.

vlastní pozorování z PET/CT vyšetření, se znalostmi a zkušenostmi, které jsme získali po roce koexistence s virem SARS-CoV-2.

## BARIÉROVÁ OPATŘENÍ

V současnosti jsou bariérová opatření vyšetření u nemocných shodného charakteru jako v období jarní vlny epidemie v roce 2020. Optimální je, pokud je to možné, oddělení provozu pro pozitivní nebo suspektní nemocné na jedno CT pracoviště, nebo zachování dostatečného odstupu mezi vyšetřeními se sanitací přístroje i vyšetřovny. Radiologičtí asistenti provádějící vyšetření a sestry ošetřující nemocného jsou vybaveni dostupnými prostředky bariérové ochrany. Výhodou našeho pracoviště je v současnosti již účinné prorokování personálu. U vyšetření PET/CT neprovádíme vyšetření u suspektních nebo pozitivních nemocných *pro se*. Každý nemocný, který přichází na vyšetření, je podroben triáži s odebráním epidemiologické anamnézy a změřením tělesné teploty. U nemocných, kteří prodělali COVID-19, odebíráme informace o poslední pozitivitě testu, vyšetření neprovádíme do 14 dnů po pozitivitě testu. Neprovádíme antigenní testy, proto je možné, že u některých nemocných je nalezena symptomatologie, která odpovídá akutnímu onemocnění COVID-19, aniž by na něj bylo pomýšleno. Všichni nemocní s náhodným nálezem akutního onemocnění COVID-19 byli buď asymptomatictí, nebo měli, pokud trpěli inflamatorní symptomatologií nejasného původu, negativní test na protilátky, nebo dokonce negativní test polymerázovou řetězovou reakcí.

## TECHNIKA VYŠETŘENÍ CT A PET/CT

U CT vyšetření se používá standardně nativní vyšetření bez podání kontrastní látky, kdy je možné použít snížení dávky jen do té míry, aby bylo možné hodnotit intersticiální změny. Dávkový ekvivalent z vyšetření je obvykle v rozmezí 1,0–2,5 mSv. Nevhodné jsou algoritmy, které příliš potlačují rozhraní, současně nejsou ani příliš vhodné techniky snížení dávky, které využívají předfiltraci například cínovým filtrem.

Přílišná filtrace nízkenergetických fotonů snižuje absorpci v postižené, ale i nepostižené plicní tkáni, a přispívá tak k nižšímu rozlišení nízké kontrastních struktur. V jednotlivých případech máme zkušenosti i s použitím photon-counting CT, kdy je možné využít vyšetření s ultravysokým rozlišením současně s významným snížením dávky, kdy se vyšetření pohybuje dávkovým ekvivalentem kolem 0,4 mSv.

Zatímco před rokem byla vyšetření jen vzácně prováděna jako vyšetření CT angiografie, v současnosti se podání kontrastní látky doporučuje všude tam, kde jsou u nemocných současně symptomy, které ukazují na možnou klinicky významnou plicní embolii. U nemocných s podezřením na COVID-19 je správné volit co nejmenší možnou dávku kontrastní látky, jelikož každý nemocný je potenciálně ohrožen vznikem renální insuficience; podobně jako u běžné populace riziko renální insuficience stoupá s obecnými rizikovými faktory. Pro běžná vyšetření CT angiografie plicnice je možné jako maximální dávku kontrastní látky považovat 60 ml jódové kontrastní látky s koncentrací 350 mgI/ml, využíváno je pak automatické spuštění akvizice dat po dosažení cílové denzity v plicnici. Optimalizovanými protokoly aplikace kontrastní látky a akvizice dat je možné snížit objem podávané až na objem 40 ml. U vyšetření s takto výrazně nižším aplikovaným objemem kontrastní látky, především je-li nemocný vyšetřován s bolestí na hrudi, lze využít rychlého skenování s vysokým faktorem stoupání a zachycením arteriální plicní a arteriální systémové fáze odděleně. Ke správnému načasování skenu je pak vhodné použít testovací podání bolusu kontrastní látky, a stanovit tak přesně zpoždění podle cirkulačního času.

Pokud je u nemocných současně přítomna také abdominální symptomatologie, je součástí vyšetření také zobrazení břicha. Je správné a vhodné pak provést vyšetření v bezprostřední návaznosti na plicní vyšetření ve fázi, která je dostatečná pro zobrazení pánevního i retroperitoneálního žilního systému ve chvíli plné venózní fáze. Celkový objem podané kontrastní látky pak může zůstat i 60 ml, pokud je opět použito mapování příchodu kontrastní látky testovacím bolusem.

CT vyšetření, které je součástí PET/CT, provádíme standardně v arteriální

fázi nástriku kontrastní látky s podáním 80 ml jódové kontrastní látky s koncentrací jódu 370 mgI/ml v rozsahu hlavy, krku, trupu a pánve, v rozsahu hrudníku je provedena rekonstrukce s algoritmem pro high-resolution. Pokud nemocný přichází z důvodu inflamatorního procesu nejasné etiologie, je provedeno vyšetření v rozsahu celého těla včetně dolních končetin. Následuje zobrazení v portální fázi v rozsahu břicha a pánve. Všechny rekonstrukce jsou prováděny, aby bylo možné provádět hodnocení v submilimetrovém izotropním rozlišení. PET akvizice dat provádíme po 60 minutách od podání  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy v dávce aktivity 2,5 MBq/kg hmotnosti, akvizice dat je prováděna po dobu 1,5 min na jednu pozici v rozměru 220 mm, při rekonstrukci dat s korekcí atenuace je použita technika time-of-flight a point-spread function s maticí 200 × 200 bodů v poli o průměru 700 mm a 400 × 400 mm v poli o průměru 500 mm. Jsou rekonstruována také obrazy bez korekce atenuace.

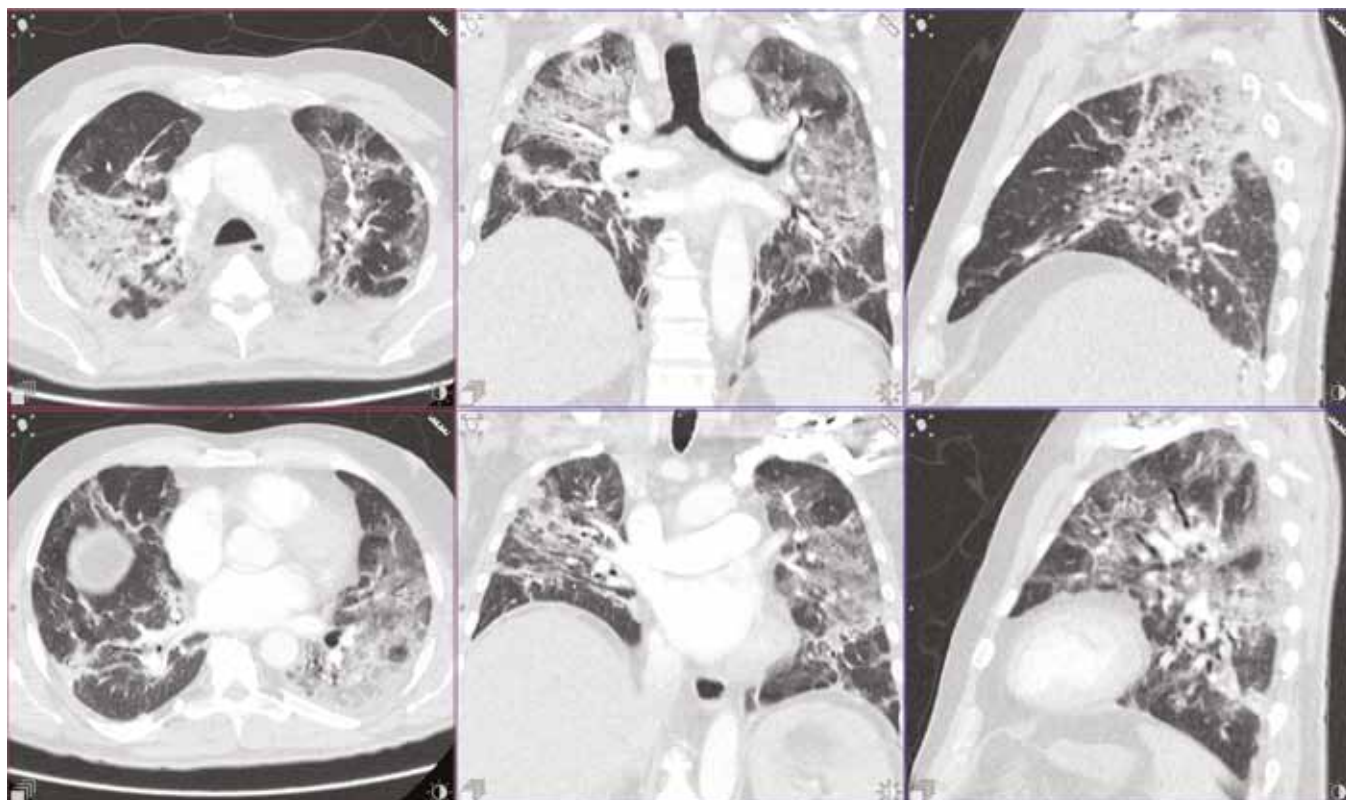
## NÁLEZY U COVID-19 V CT A PET OBRAZE S PODÁNÍM $^{18}\text{F}$ -FLUORODEOXYGLUKÓZY

### Akutní plicní nálezy

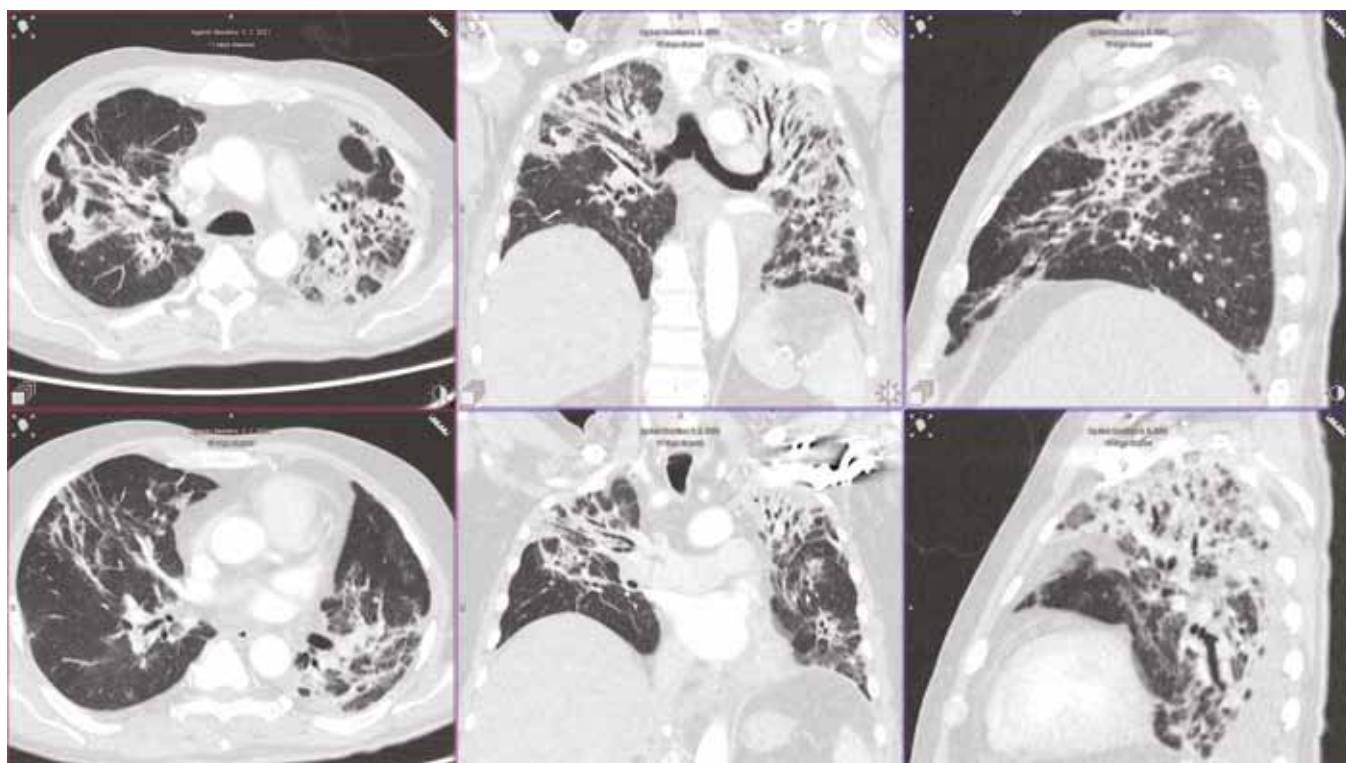
Pokud je provedeno vyšetření velice brzy po začátku příznaků, drobné neostře ohraničené peribronchiální infiltráty. Postupem času se infiltráty „rozpuštějí“ a objevují se intraalveolární efuze v podobě iopacit typu mléčného skla. V dalším vývoji se objevuje typická metamorfóza infiltrátů s počínajícím zesílením intersticia, někdy s příznakem atolu a tvorbou subpleurálních pruhovitých formací. Pokud je současně v této iniciační fázi zachycen asymptomatický nález při PET/CT s podáním  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy, je akumulace poměrně nízká, tkáň neobsahuje ještě tak výraznou populaci buněčných vektorů zánětu, jako je tomu pak s odstupem několika dní. U britské varianty viru dominující v západních Čechách v únoru a březnu 2021 se častěji objevují jednak poměrně velké infiltráty bez větší klinické odezvy, dále pak zmnožené uzliny v mediastinu u větší části nemocných, než tomu bylo na jaře a na podzim v roce 2020.



5a

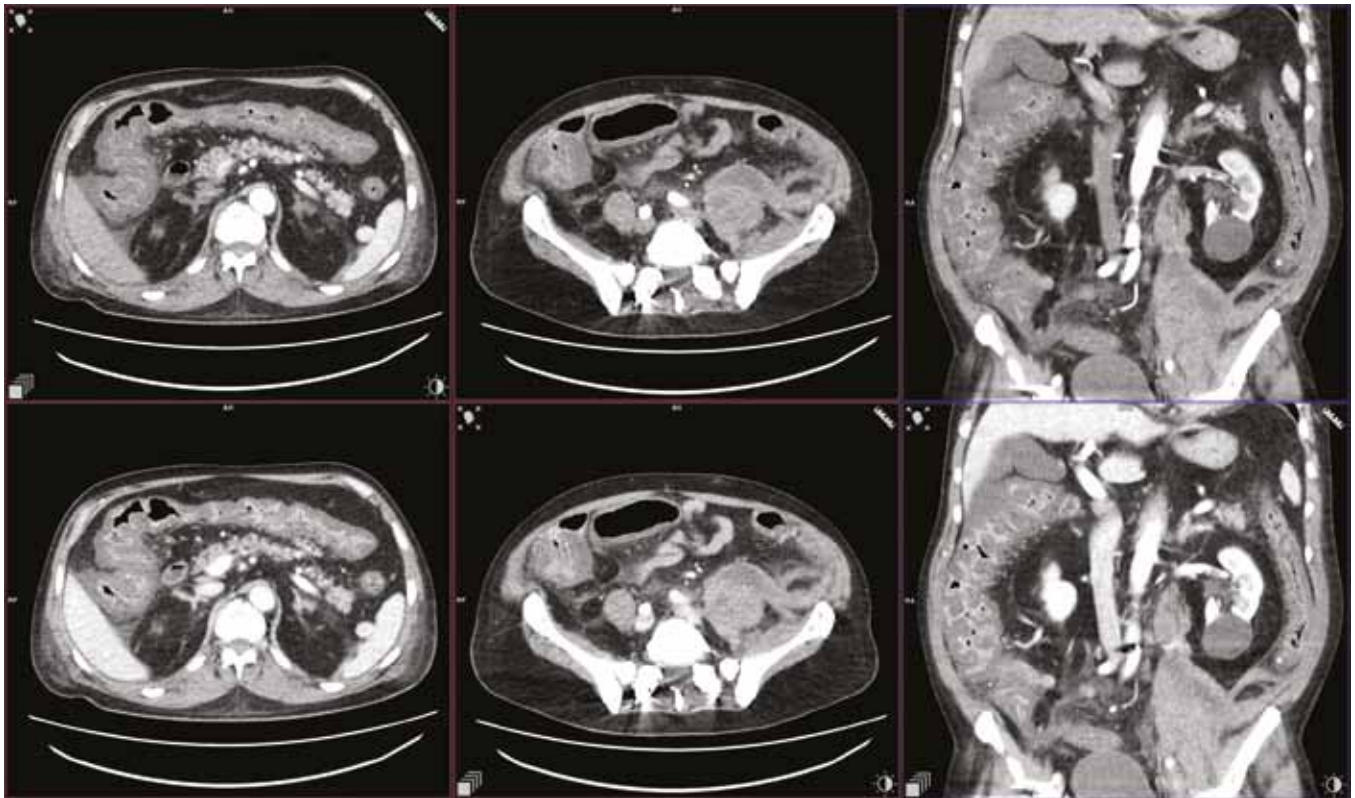


5b



**5 Vývoj onemocnění v progresivní fibrotizaci u 65letého muže:** (a) vyšetření v dechové tísní před intubací již ukazuje rozvoj trakčních bronchiektázií; (b) vyšetření po zpětném přeložení na standardní lůžko, je patrná progresse trakčních změn v plicní tkáni, vymizení intraalveolárních efuzí; (c) následné vyšetření břicha při bolestech s obrazem pseudomembranózní kolitidy (horní řada arteriální fáze, dolní řada portální fáze) ▶

**The development of the disease in progressive fibrotization in 65 years old male:** (a) CT during the acute distress syndrome, the finding demonstrates the development of the traction bronchiectases and intra-alveolar effusions; (b) after survival of the long term extracorporeal membrane oxygenation, the fibrose shows progression of scarring within lungs; (c) the abdominal pain was the indication of the abdominal CT, where the pseudomembranous colitis is detected (upper row arterial phase of contrast enhancement, lower row in portal phase) ▶



### Trombózy a plicní embolie

U nemocných v akutním stadiu onemocnění je možné detekovat také často trombózu, někdy i rozsáhlou v pánevních žilách nebo dolní duté žíle, nebo trombózu v neobvyklých lokalizacích, včetně například renální žíly. Současně mohou být přítomny i známky plicní embolizace. Plicní embolie může být přítomna současně s postižením plicního parenchymu, ale může být jen jediným projevem onemocnění. Emboly bývají objemné, často bývá přítomna dilatace pravostranných oddílů.

### Postižení plic u kriticky nemocných a jeho vývoj

U nemocných, u kterých je vyšetření provedeno v dechové tísní, těsně před nutností intubace, se objevují buď rozsáhlé známky intraalveolární efuze, je-li provedeno kontrolní vyšetření, je přítomno rapidní zhoršení rozsahu nálezu. V některých případech dochází po přechodném zlepšení klinického i CT nálezu k novému vzplanutí onemocnění a opět rozvoji intraalveolárního postižení. U některých s nelepším se klinickým nálezem se již v prvních 7–10 dnech od prvních příznaků objevují známky

peribronchiální fibrotizace a také tvorby trakčních bronchiektázií. Vývoj plicního fibrotizujícího procesu je někdy velice rychlý během 2–3 týdnů od původní infekce. Difúzní fibrotizující proces, který nasedá na mikrocirkulační změny může mít jen mírný stupeň akumulace  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy, ve studiích jsou udávána zvýšení akumulace jen kolem 4–6  $\text{SUV}_{\text{max}}$ . Nálezy pak připomínají nespecifickou intersticiální pneumonii. V případech původně rozsáhlého postižení u nemocných, kteří byli léčeni na jednotce intenzivní péče podáním dexametazonu, je možné, že se na malé úrovni akumulace podílí také potlačení aktivity fibrotizujícího procesu.

### Subakutní vývoj plicního nálezu u nemocných s lehčím průběhem nemoci

Naopak u některých nemocných, u nichž byla léčba jen podpůrná, nebo nebyli hospitalizováni, jsme pozorovali někdy velmi výrazné zvýšení akumulace  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy ve tkáni, která připomínala organizující se pneumonii. Zvýšená míra glykolýzy je pak zřejmě projevem aktivity fibrotizujícího procesu. U nemocných, kteří mají známky odeznívajícího zánětu, se také objevují

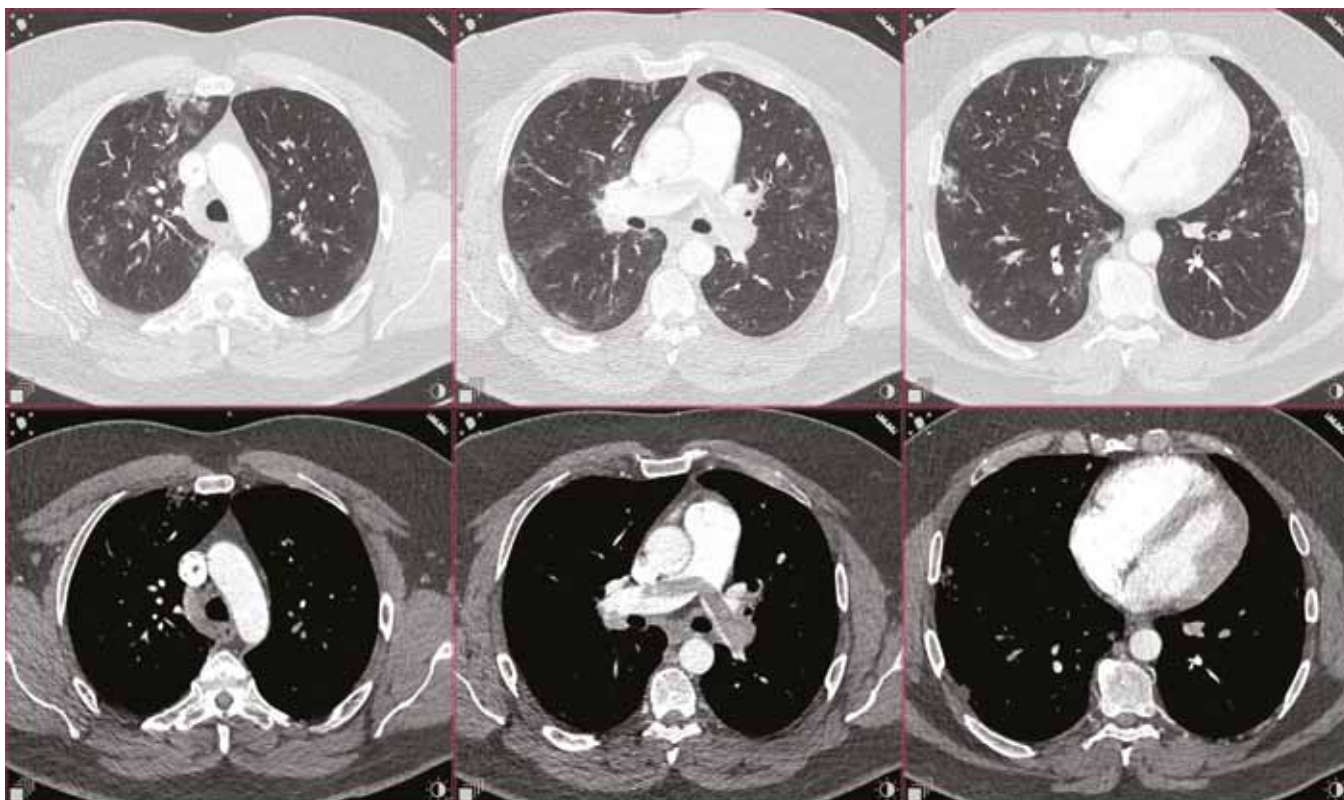
známky subakutní plicní embolie, kdy je v embolech lehce zvýšená akumulace  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy. Zvýšení akumulace v embolech (případně i trombech) se vysvětluje přítomností buněčných vektorů zánětu ve tvořícím se trombu, především aktivovaných lymfocytů. Podobné akumulace jsou pak tedy popisovány také v žilní trombóze *in situ*, je-li zachycena při PET/CT.

### Intraabdominální nálezy u COVID-19

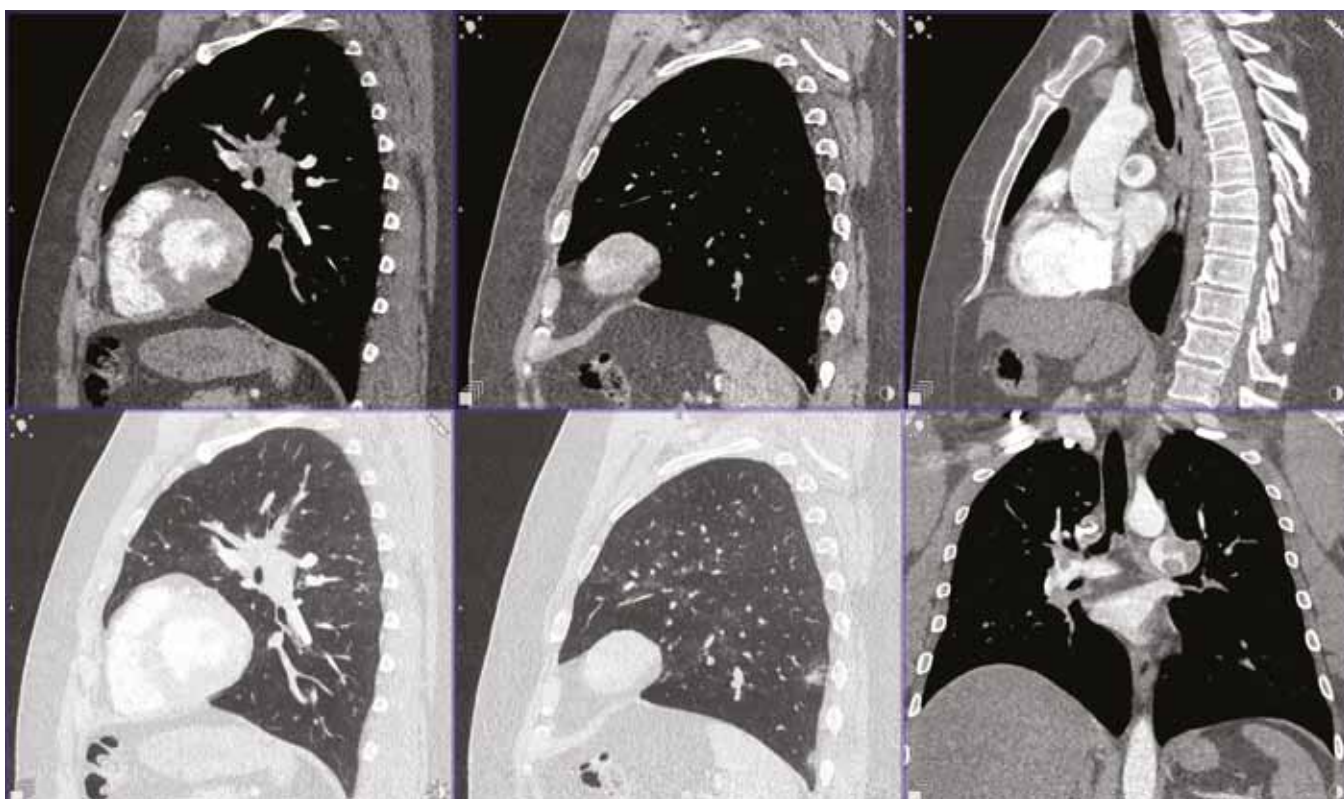
V akutní fázi onemocnění se objevují někdy manifestace akutního střevního zánětu, především tračníku, dále může být prvním projevem onemocnění COVID-19 akutní cholecystitida nebo příznaky podobné apendicitidě. Nemocní s těžkým postižením plic vykazují často v laboratorním nálezu b+hem hospitalizace prudký nárůst markerů zánětu C-reaktivního proteinu, ferritinu, prokalcitoninu, ale také leukocytózy. Poté bývá u nemocných užito antibiotické širokospektré empirické léčby. Její následek může být pak pablánová, pseudomembranózní kolitida způsobená *Clostridium difficile*. V CT obraze se pak nachází typický obraz rozsáhlého submukózního edému, syčení sliznice



6a



6b



6

Rozsáhlá plicní embolie u nemocného ve věku 48 let s lehkým průběhem pneumonie COVID-19 s britskou variantou SARS-CoV-2  
Large pulmonary embolism in 48 years old male with mild course of COVID-19 pneumonia with the infection of the British variant of SARS-CoV-2



7



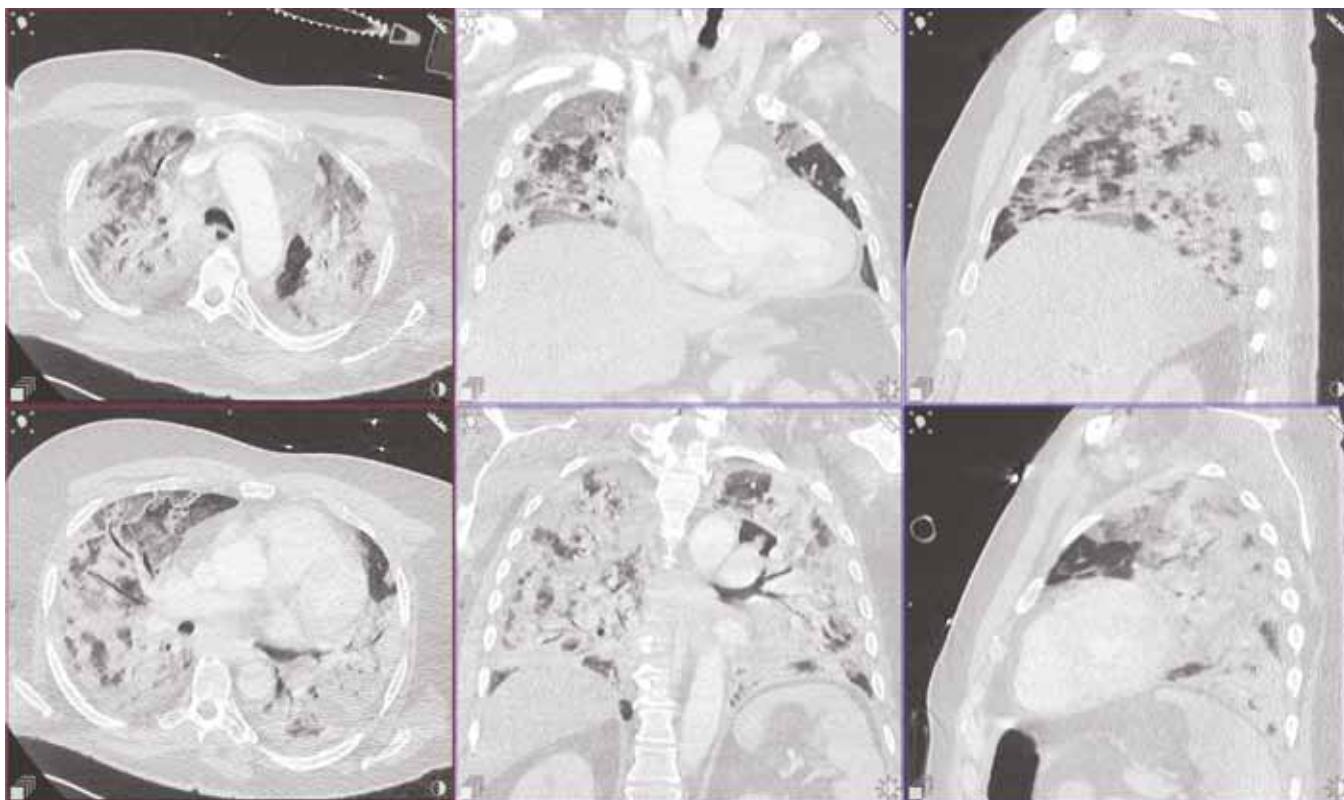
- 7 Rozsáhlá plicní embolie s uzávěrem pravé větve plicnice a dilatací pravostranných oddílů u 14leté dívky bez známek plicních projevů onemocnění; COVID-19 prokázán pomocí PCR, původní varianta SARS-CoV-2, dvoufázová CT angiografie  
Occlusion of the right main pulmonary artery with the embolus in 14 years old girl with the British variant of SARS-CoV-2

8

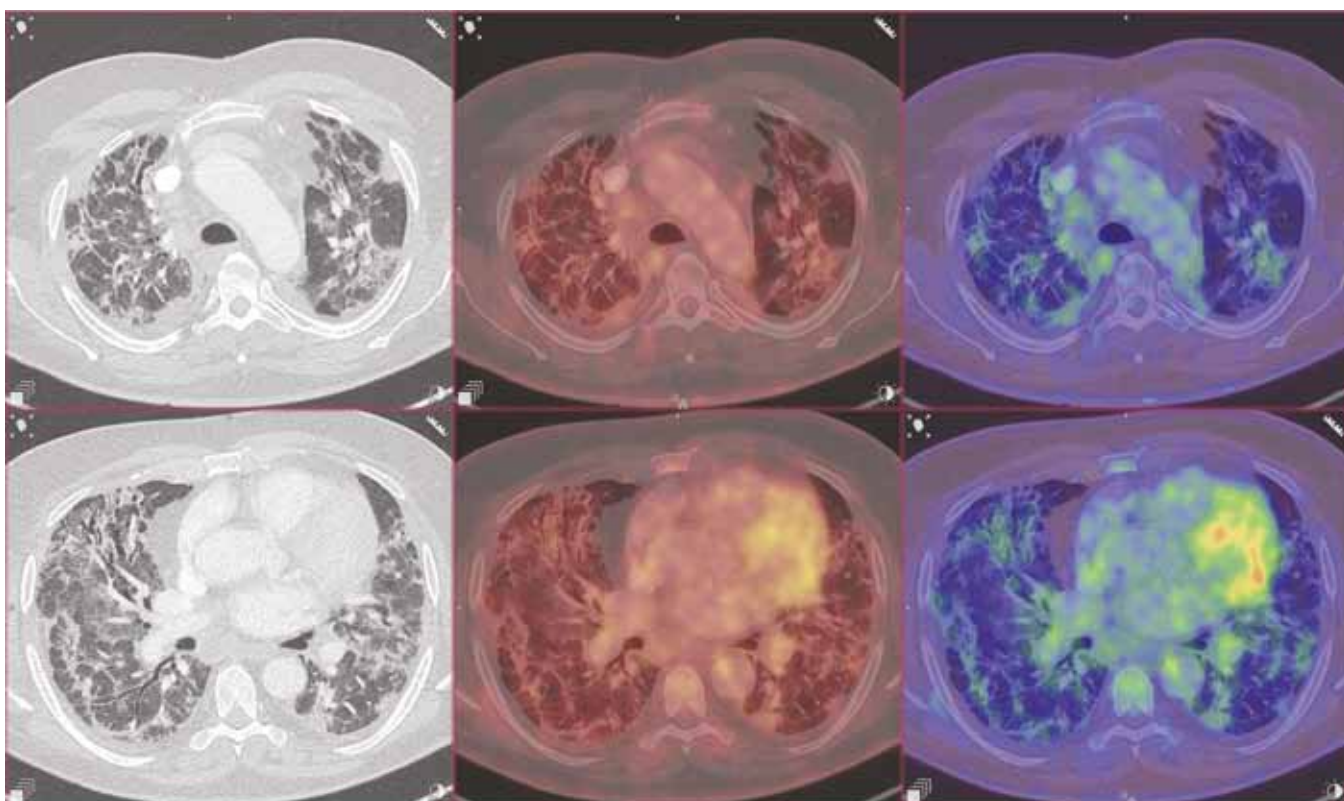


- 8 Rozsáhlá trombóza dolní duté žíly a levostranných pánevních žil u 42leté ženy s infekcí původní variantou SARS-CoV-2  
Large thrombus in inferior vena cava and left sided pelvic veins in 42 years old female with the original variant of SARS-CoV-2

9a

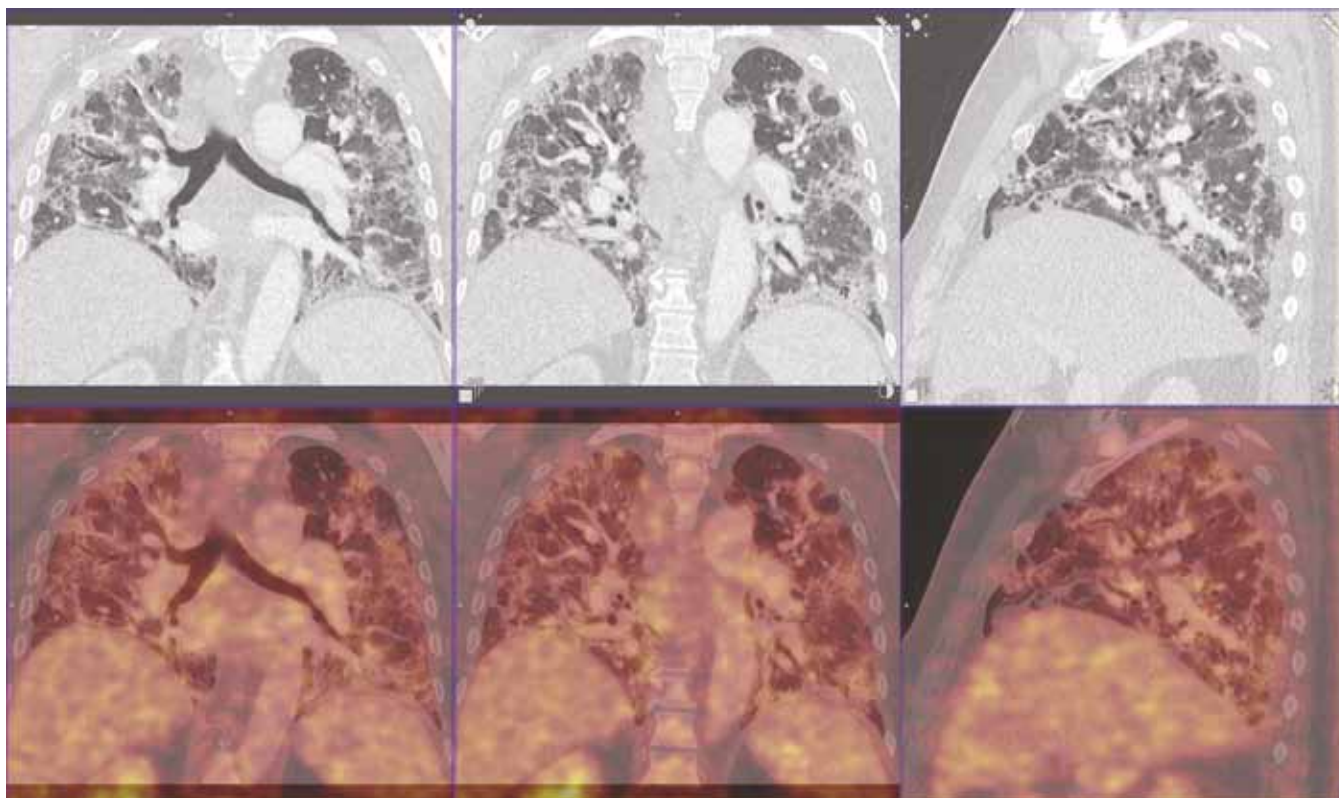


9b

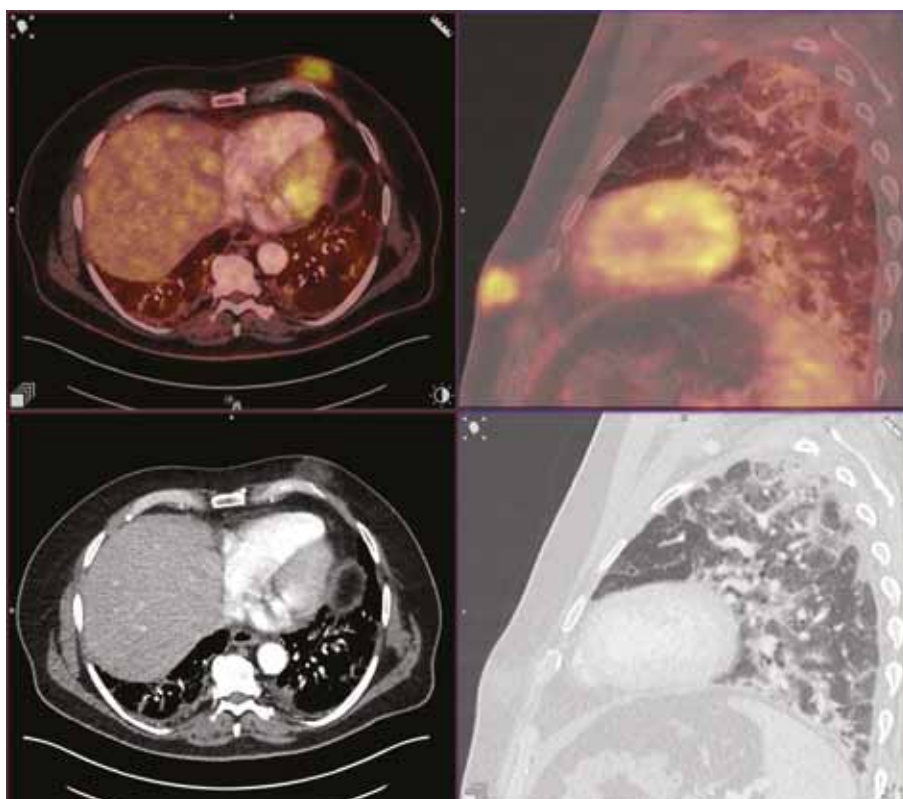




9c



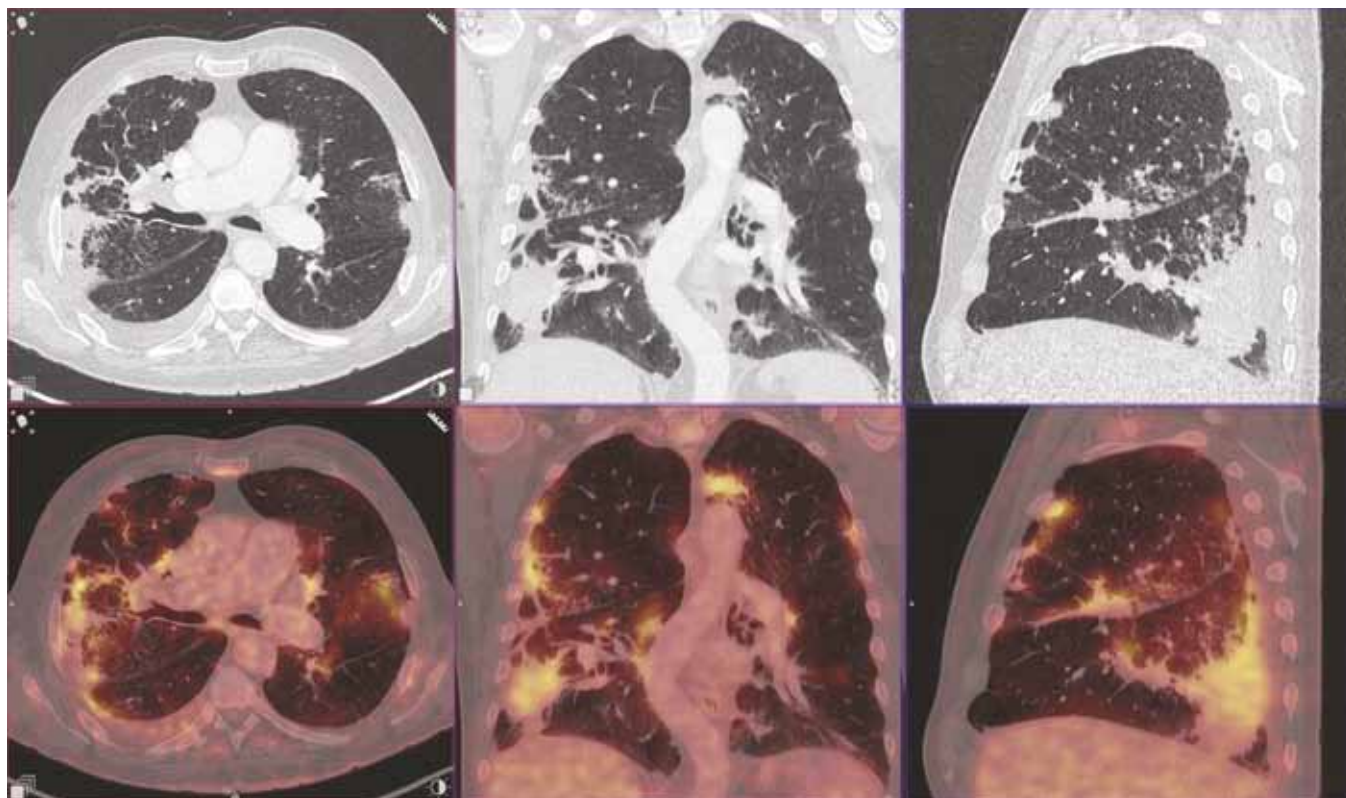
9d



**9** **Vývoj plicní fibrózy:** (a) rozsáhlý nález postižení plicní tkáně u 63letého muže při plicní ventilaci, původní varianta SARS-CoV-2, přetrvávající inflamatorní syndrom 6 týdnů po propuštění z nemocnice; (b,c) fibrotizace plicní tkáně s jen malým zvýšením metabolické aktivity na PET/CT; (d) zánětlivý infiltrát v podkožní tukové tkáni

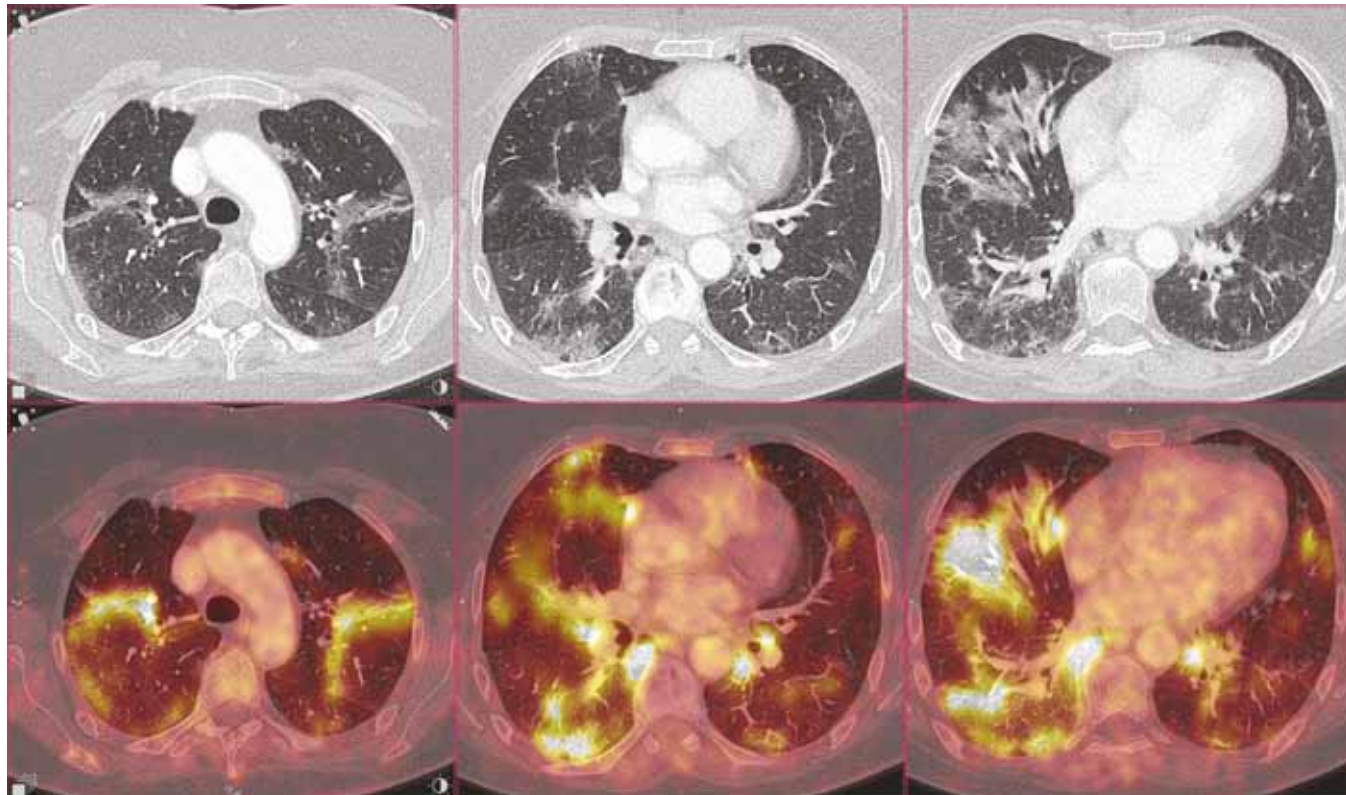
**The development of the lung fibrosis:**

(a) extreme infiltration of the lungs in 63 years old male during artificial lung ventilation, the original variant of SARS-CoV-2, the persistent inflammatory syndrome after 6 weeks after dismissal; (b,c) fibrotisation of the lung tissue with the relatively low level of the metabolic activity on PET/CT; (d) inflammatory infiltration within the subcutaneous fatty tissue



**10** Přetrvávající inflamatorní syndrom po infekci původní variantou SARS-CoV-2, 7 týdnů po infekci – nález vzhledu organizující se pneumonie s vysokým metabolickým obratem

The persistent inflammatory syndrome seven weeks after the infection of the original variant of SARS-CoV-2 – the PET/CT shows the high metabolic activity in the infiltrates similar to the organizing pneumonia

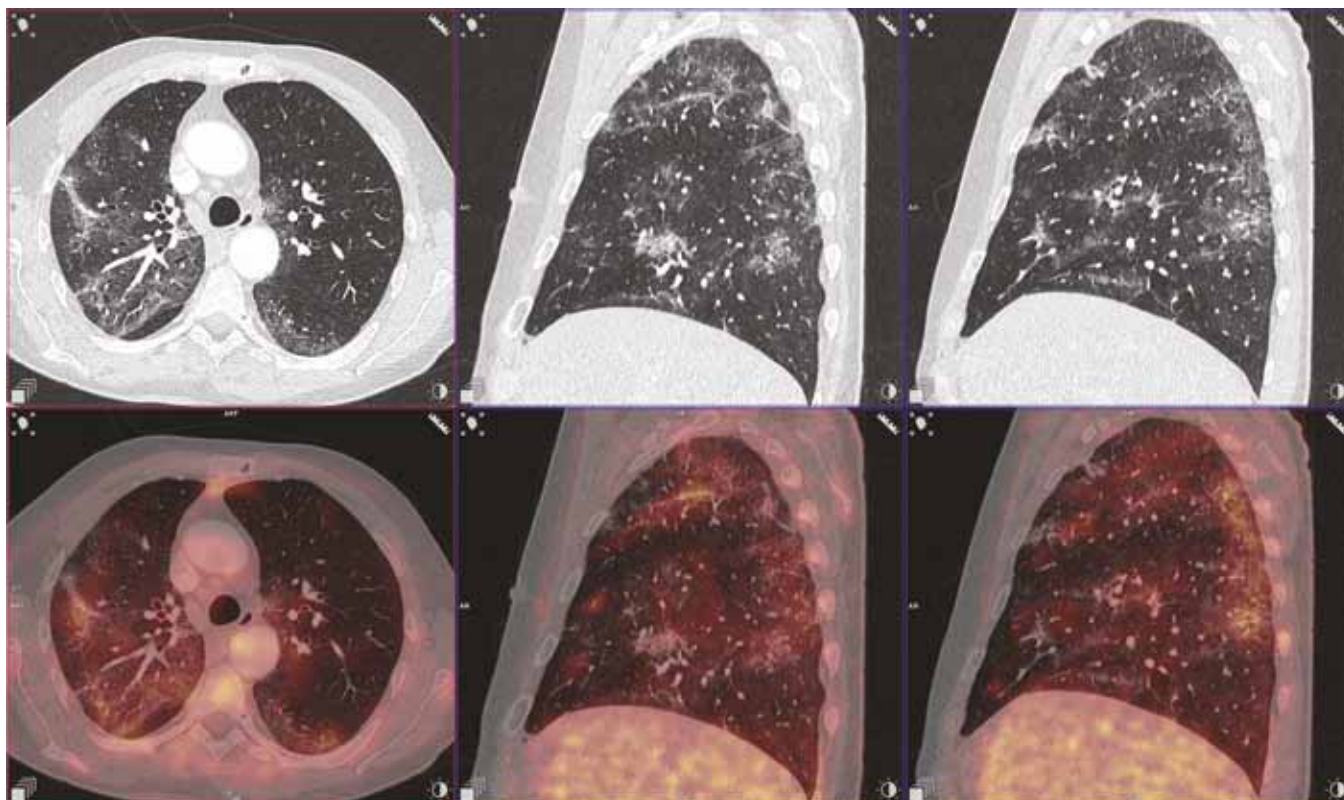


**11** Přetrvávající inflamatorní syndrom po infekci původní variantou SARS-CoV-2, 6 měsíců po infekci v jarní vlně epidemie v roce 2020 – nález vzhledu organizující se pneumonie s vysokým metabolickým obratem

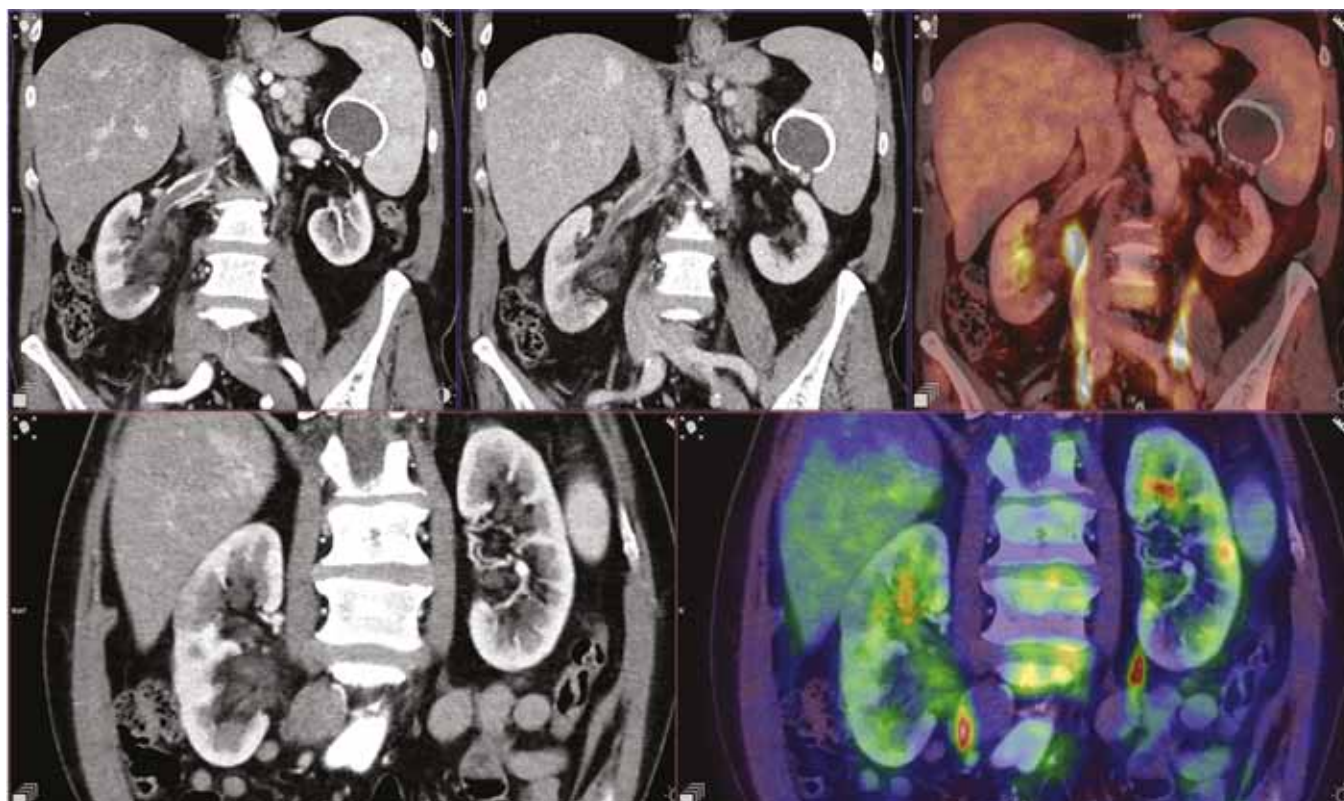
The persistent inflammatory syndrome six months after the infection of the original variant of SARS-CoV-2 during the spring wave in 2020 – the PET/CT shows the very high metabolic activity in the infiltrates similar to the organizing pneumonia



12a

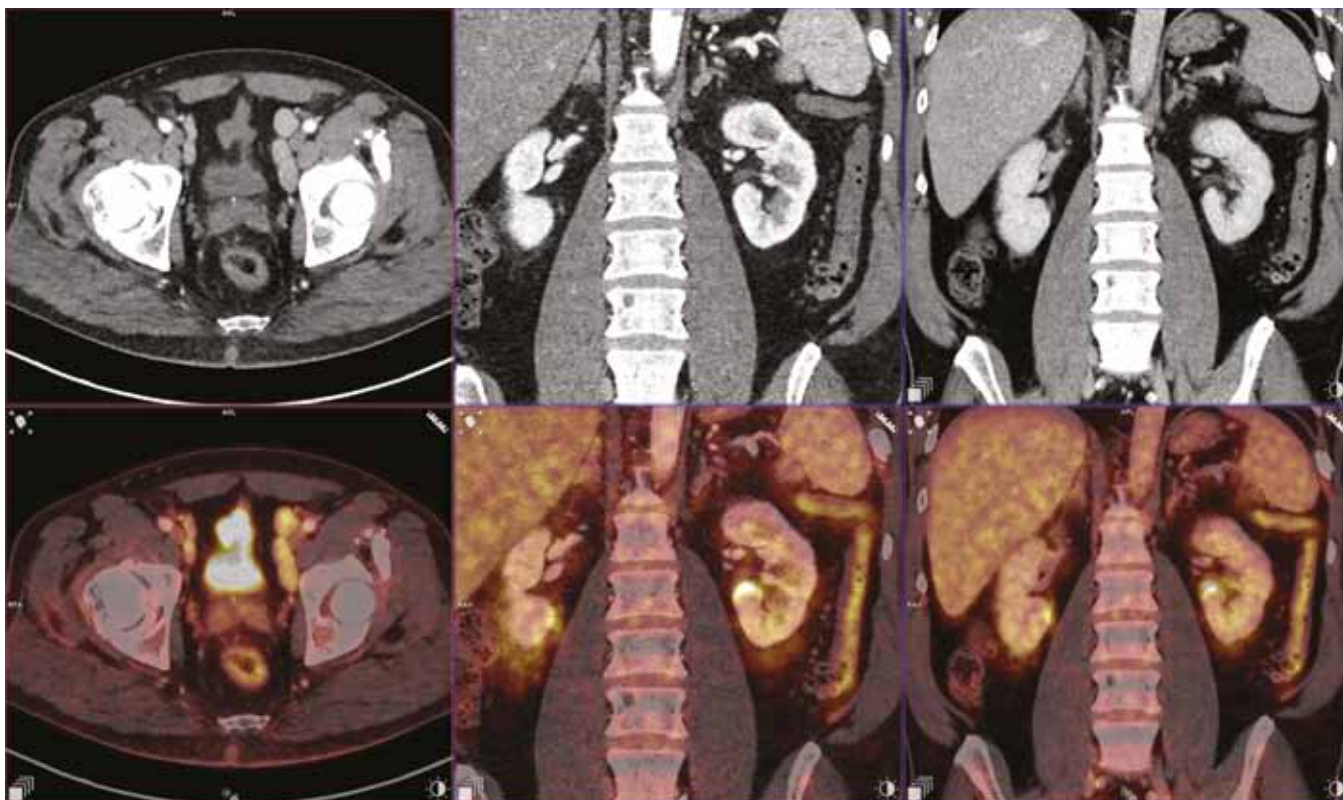


12b



**12 Náhodný nález COVID-19 u nemocného vyšetřovaného pro nádorové onemocnění nejasné etiologie:** (a) plicní infiltráty s relativně nízkým metabolickým obratem; (b) trombóza v pravé renální žíle s rozvojem infarktu části parenchymu

**The accidental finding of COVID-19 in male with suspected tumor of unknown origin:** (a) lung infiltrates of the acute disease phase with low metabolic activity; (b) thrombosed right renal vein with development of the parenchymal infarction



**13** Trvající inflamatorní stav po COVID-19 s britskou variantou SARS-CoV-2 – metabolicky aktivní lymfadenopatie a zánět střešní stěny  
The persistent inflammatory syndrome after the infection of the British variant of SARS-CoV-2 – increased metabolic activity and the enhanced enlarged lymph nodes, the inflammatory thickening of the large bowel wall

tlustého střeva a příznak „harmoniky“. U nemocných na jednotce intenzivní péče jsme se setkali také s akalkulózní cholecystitidou. V subakutním stadiu po prodělané infekci se objevují také difúzní postižení střešní stěny připomínající kolitidu u lupus erythematoses. Je tedy možné, že i zde hraje role poškození mikrocirkulace, akumulace  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy je pak ve stěně střeva difúzní.

### Aktivace lymfatického systému a kostní dřeně u COVID-19

Nemocní, kteří byli hospitalizováni na jednotce intenzivní péče s těžkým postižením, vykazují obvykle zvýšenou akumulaci kostní dřeně, podobně jako je tomu u jiných závažných onemocnění. Časté jsou také známky aktivace lymfatického systému, především uzlin. Empiricky jsme zjistili, že častěji se uzlinové postižení objevuje u nemocných s chronickým inflamatorním syndromem ve třetí vlně epidemie. Je tedy hypoteticky možné, že britská mutace viru vyvolává častěji aktivaci uzlin. Zajímavé je, že pokud jsme pozorovali postižení

tračníku difúzní a kontinuální, pak byla přítomna současně u takových nemocných i lymfadenopatie. Uzliny byly postiženy mnohočetně ve všech lokalizacích – v axilách, v mediastinu, v retroperitoneu, v pánvi i v tříselech.

### Projevy vaskulitidy u COVID-19

Jsou popsány jednotlivé případy post-COVID-19 vaskulitidy jako příčiny chronického inflamatorního syndromu. Avšak naše pozorování akutního onemocnění COVID-19 ukazuje na mnohočetné postižení vaskulitidou velkých a středních tepen, které zčásti připomínalo svými projevy velkobuněčnou arteritidu, zčásti kombinaci s plicním postižením vaskulitidu nekrotizující (dříve nazývanou Wegenerova granulomatóza). Postižení cévní stěny se lišilo od jiných arteritid diskontinuálním postižením s nepravidelnou, místy splývající akumulací  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy. Nález tedy fenotypicky podporuje teorii, že u COVID-19 dochází k postižení drobných cév na úrovni kalibru vasa vasorum. Na významný podíl vaskulitidy ukazují i některé morfologické typy

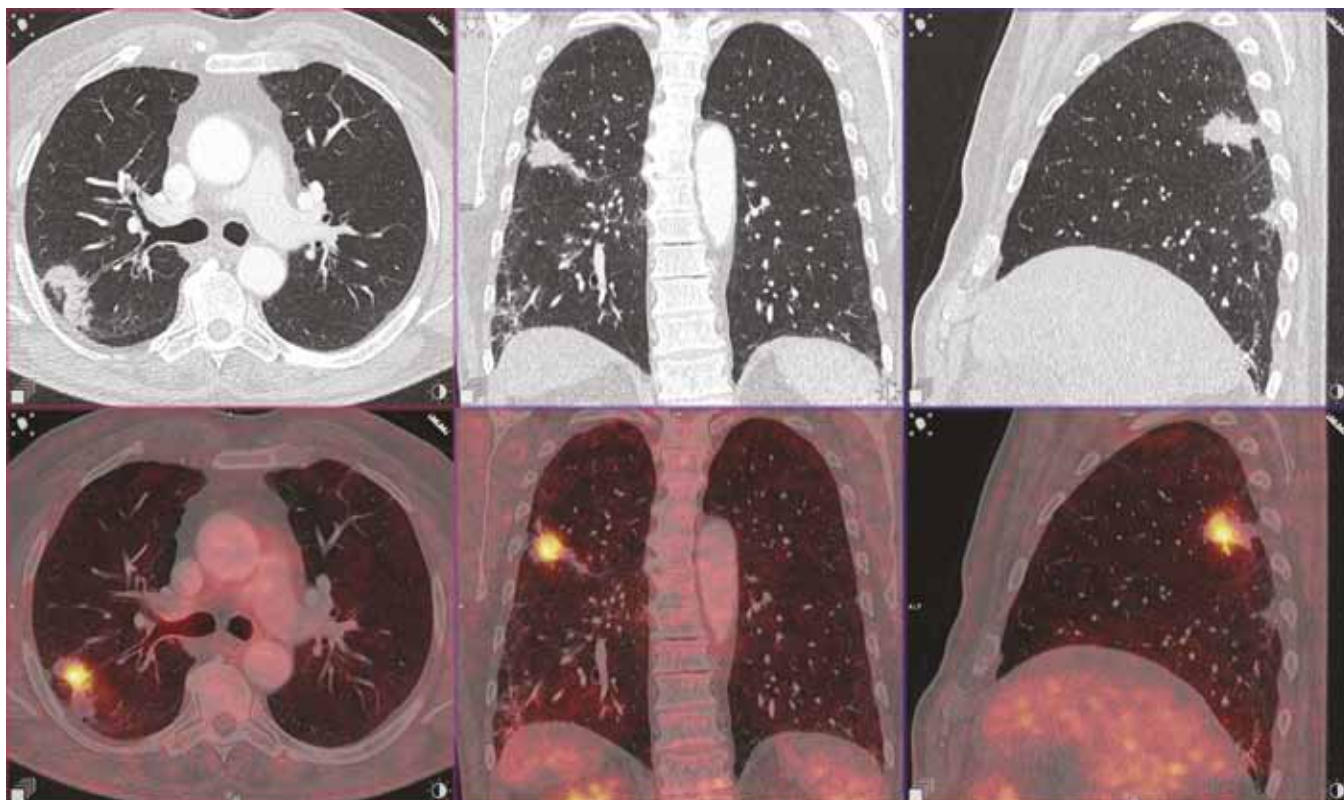
postižení jak plicní tkáně, tak střeva, ale možná i právě cholecystitidy. Je pravděpodobné, že i některá zánětlivá ložiska v tukové tkáni nebo ve svalích, která se zobrazují vzhledem k akumulaci  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy, dokonce i projevy myositidy jsou související s přítomností COVID-19 „vaskulitidy“.

### Postižení mozku COVID-19

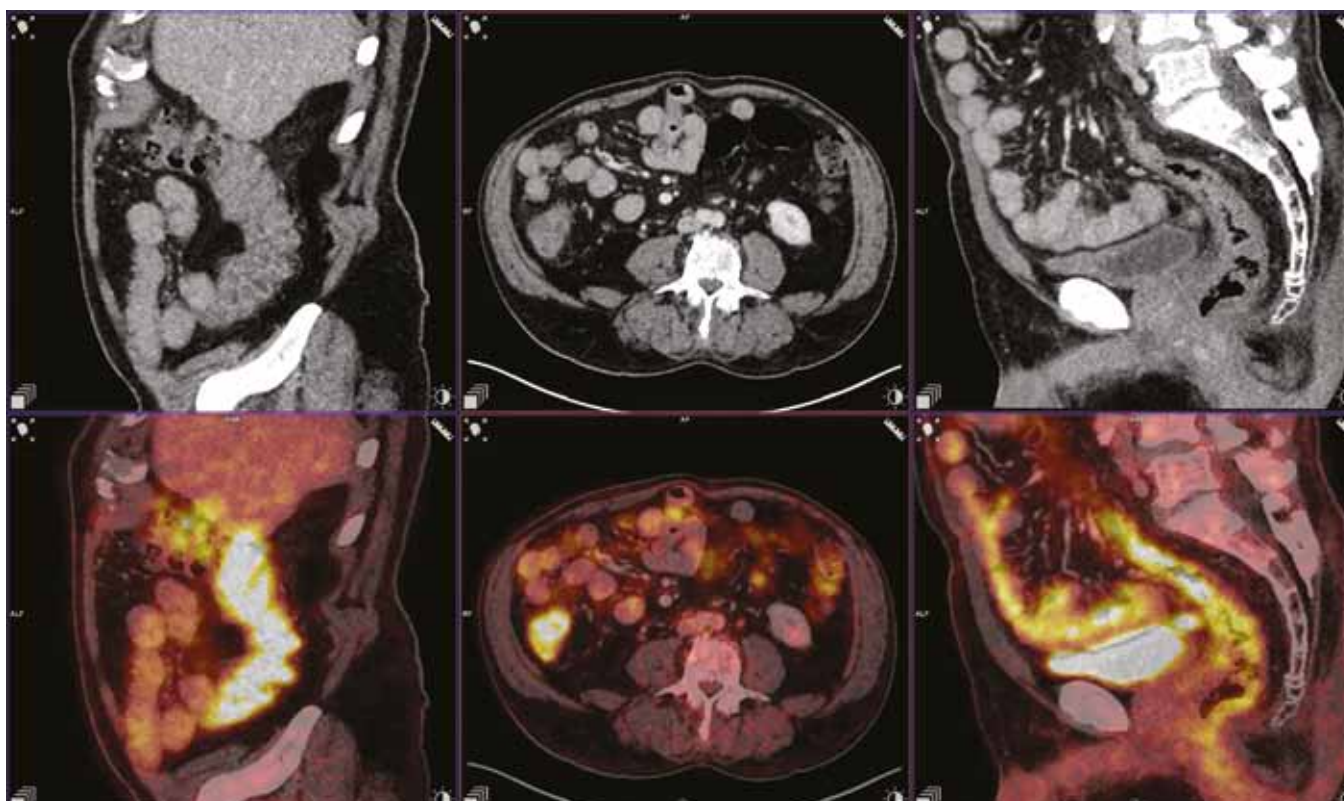
V literatuře je zmiňováno celé spektrum postižení mozku od nekrotizujícího hemoragického postižení, přes rychlý rozvoj leukoencefalopatie po lakunární i teritoriální infarkty. Naše pozorování případu bylo odlišné. Nemocný muž po proděláním relativně lehkého plicního zánětu s odezněním plicního nálezu upadá do nekorigovatelné hypertermie a objevují se u něj nekontrolovatelné ztráty natria odpovídající nepřiměřené sekreci antidiuretického hormonu. Nemocný intermitentně upadá do stavu poruchy vědomí. U nemocného jsme provedli nejprve vyšetření PET/MR mozku, následně bylo provedeno vyšetření celého trupu pomocí PET/CT, abychom mohli lépe zobrazit plicní tkáň a cévy. ●



14a



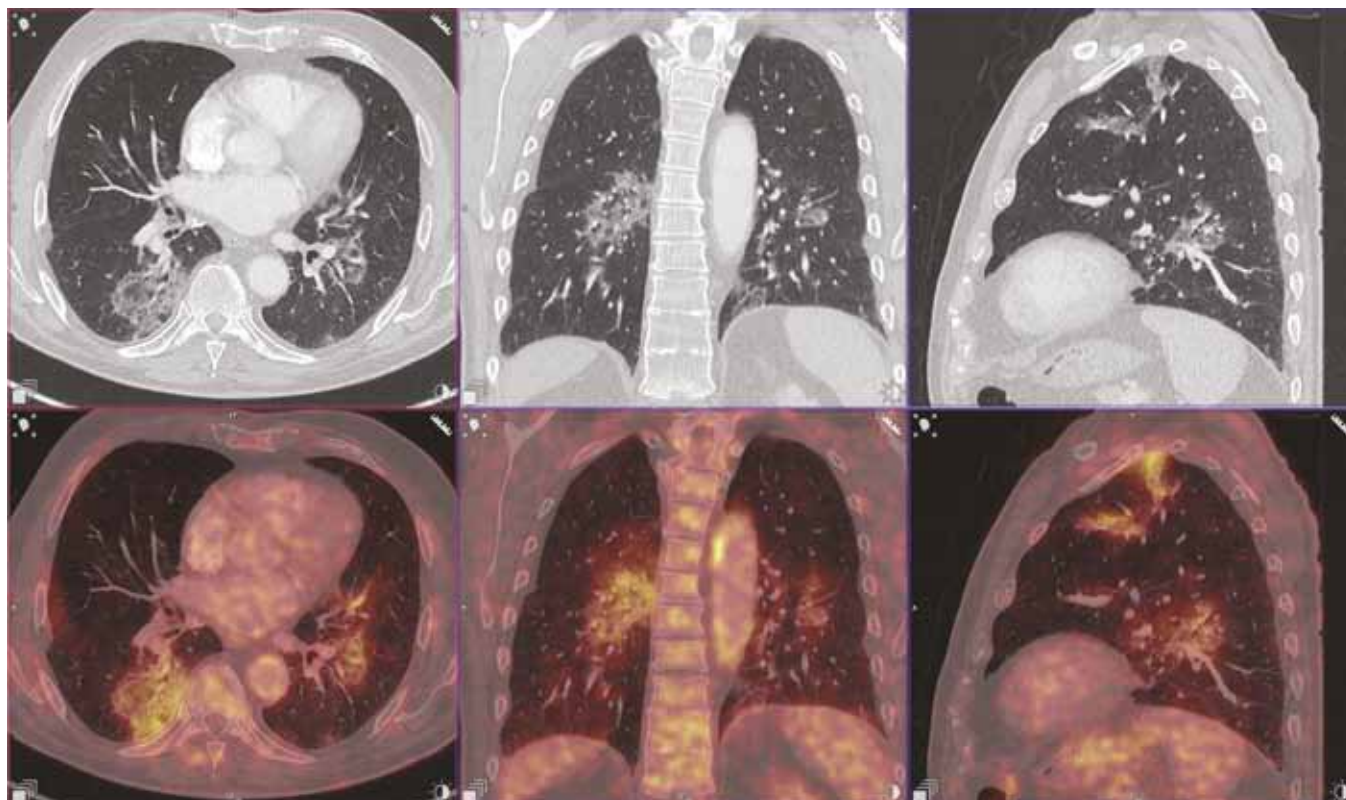
14b



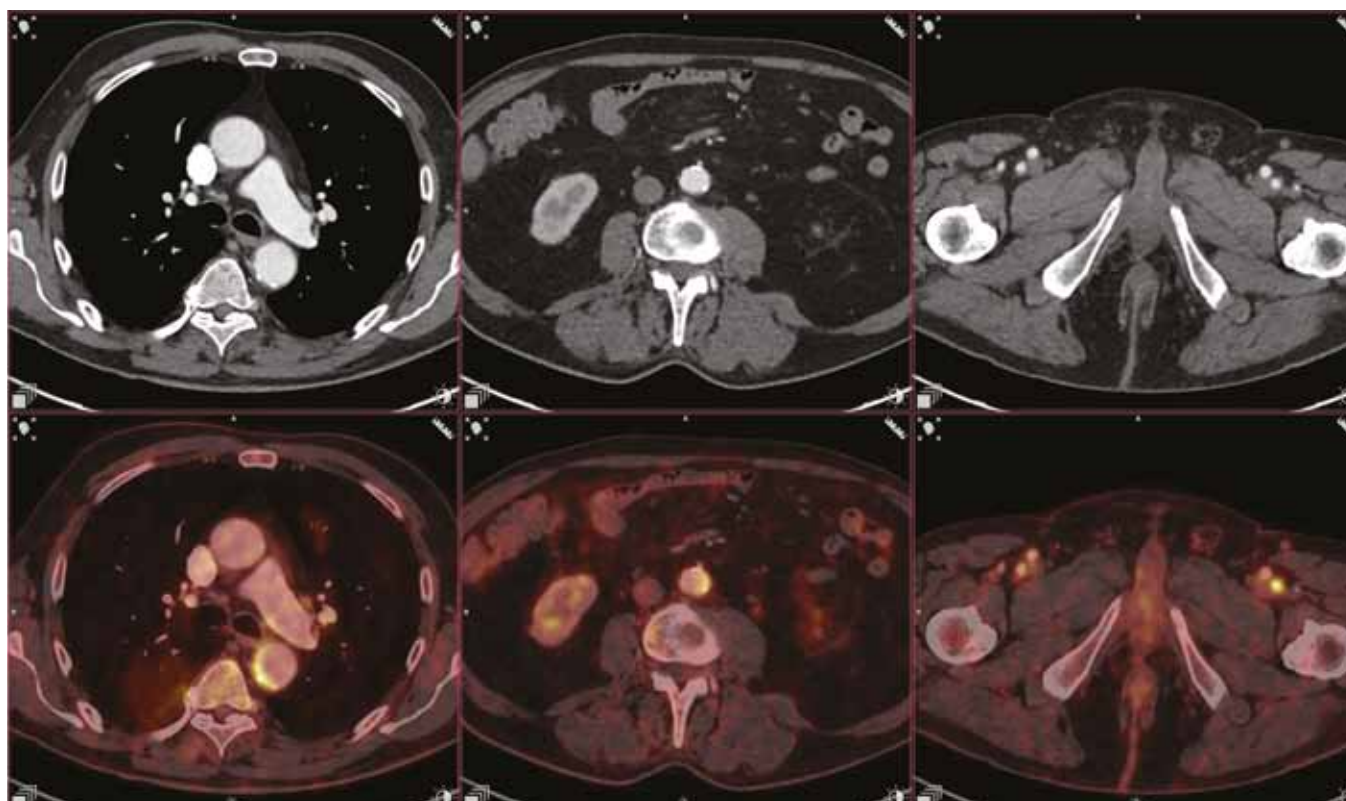
- 14** Náhodný nález ložiska v plicní tkáni u perzistujícího inflamatorního syndromu COVID-19 s britskou variantou SARS-CoV-2, vyšetření 3 týdny po prodělané infekci: (a) v plicní tkáni ložisko nádorového vzhledu, později potvrzen adenokarcinom; (b) současně rozsáhlé postižení střeva kolitidou

The accidental finding of the lung adenocarcinoma (later histologically confirmed) during the persistent inflammatory syndrome after the infection of the British variant of SARS-CoV-2: (a) lung lesion of carcinoma; (b) the severe large bowel inflammation

15a



15b

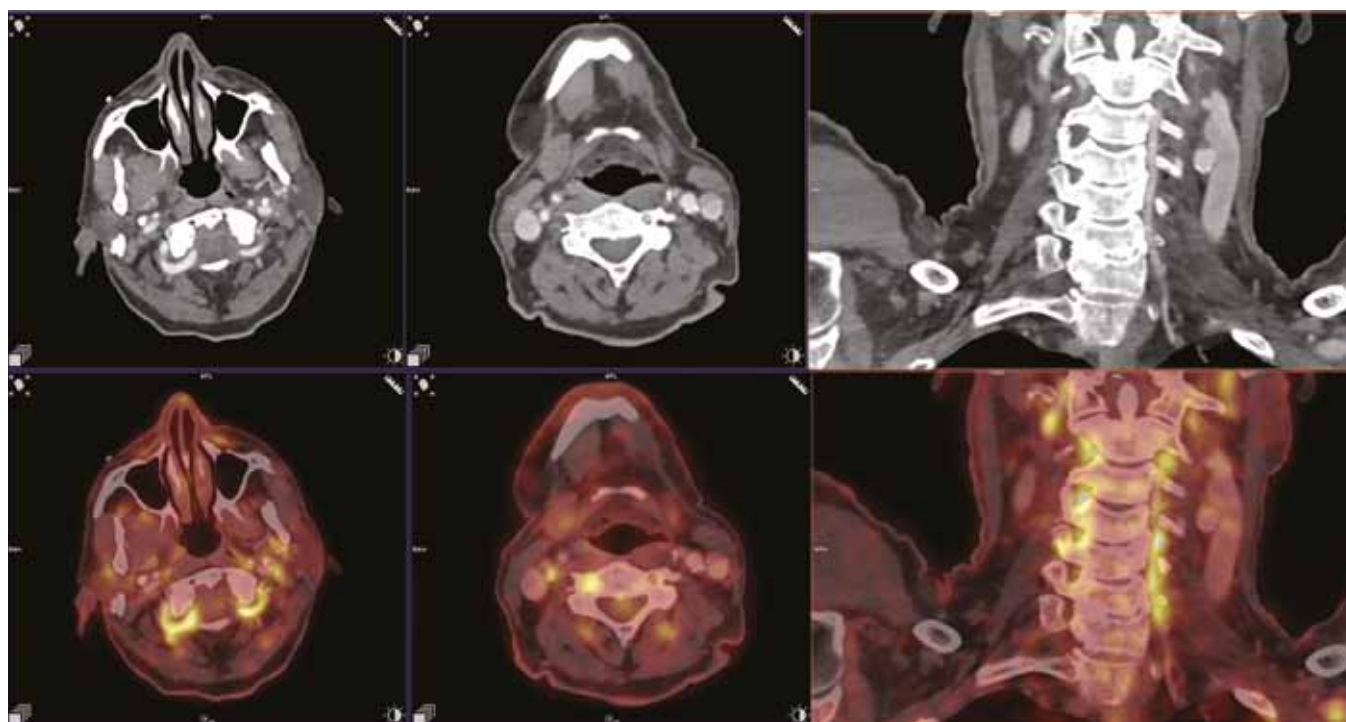




15c



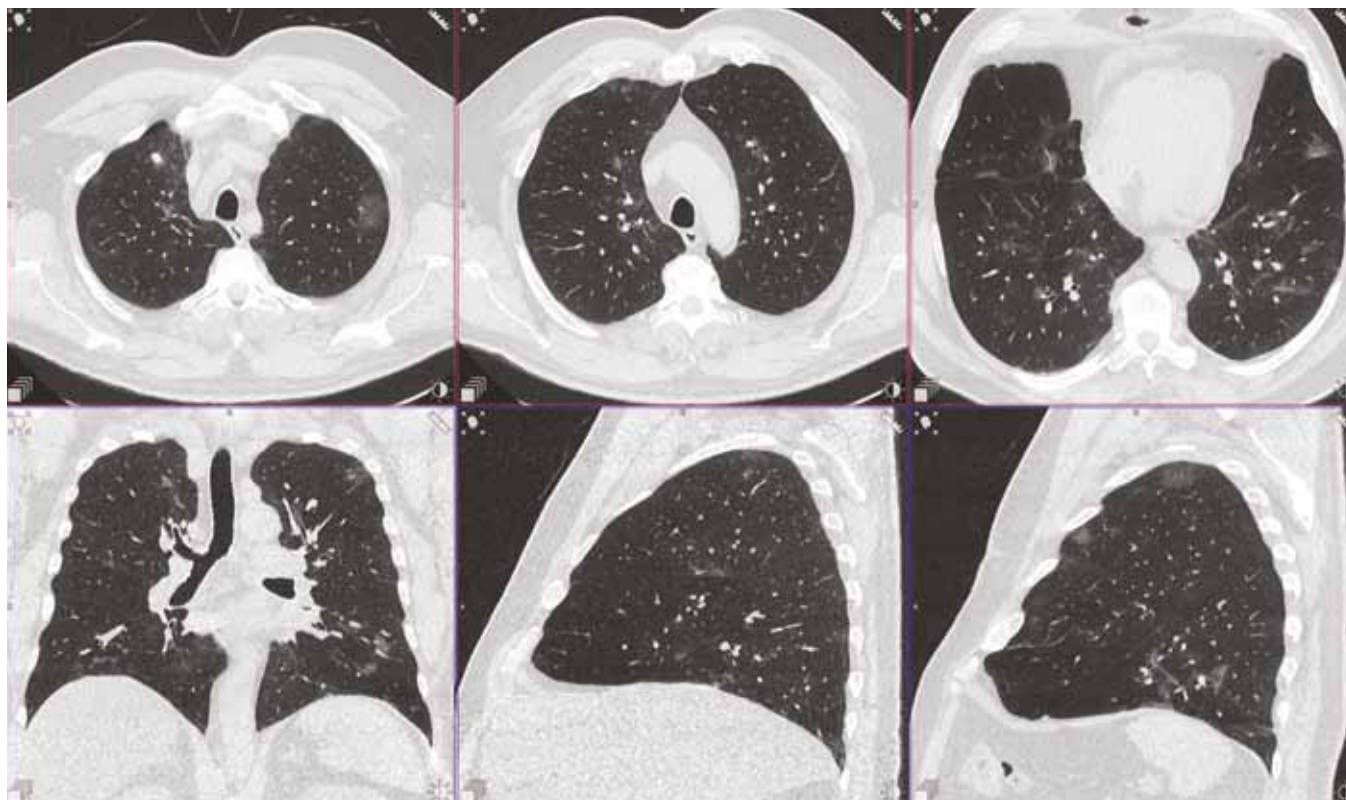
15d



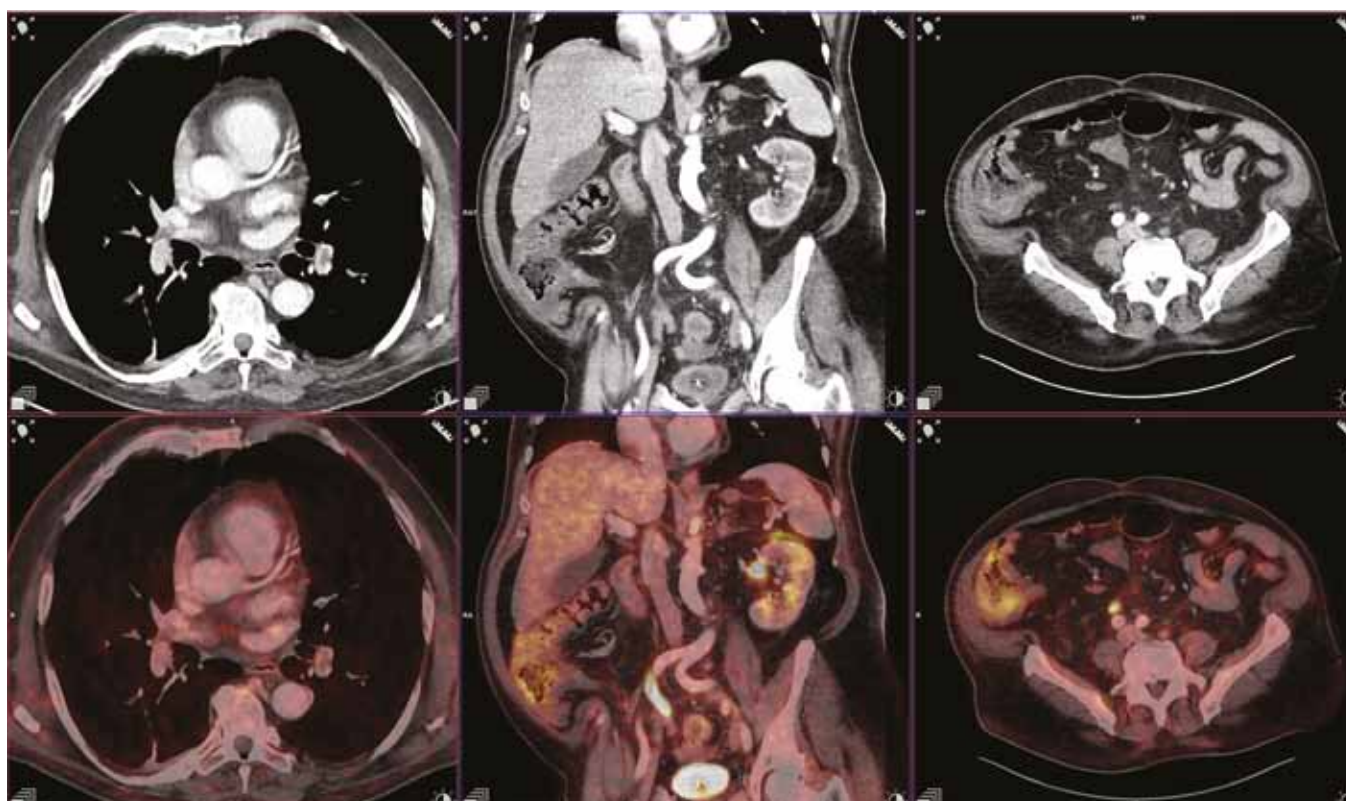
- 15 Nemocný s projevy vaskulitidy jako první manifestace onemocnění COVID-19, původní varianta SARS-CoV-2:** (a) plicní postižení rozpíjejících se infiltrátů akutní fáze onemocnění; (b) projevy vaskulitidy na hrudní a abdominální aortě a na femorálních tepnách; (c) CTA s projekcí metabolicky aktivních ložisek do angiogramu; (d) diskontinuální postižení vertebrálních tepen vaskulitidou

**Vasculitis as the first onset the infection of the original variant of SARS-CoV-2:** (a) increased metabolic activity within the lung infiltrates; (b) discontinuity of the infiltration inside the wall of thoracic and abdominal aorta and inside the wall of femoral arteries; (c) CTA with the metabolic activity projection; (d) involvement of vertebral arteries

16a



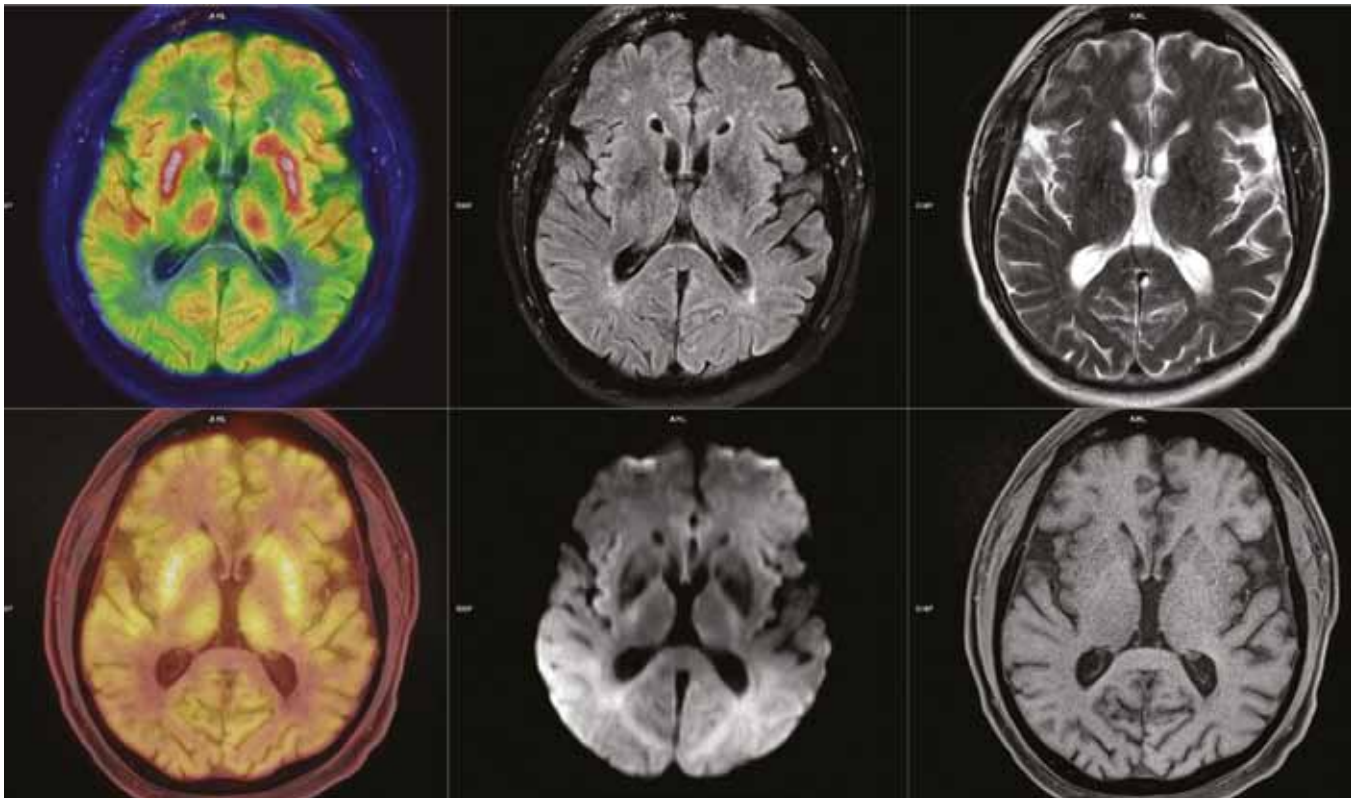
16b



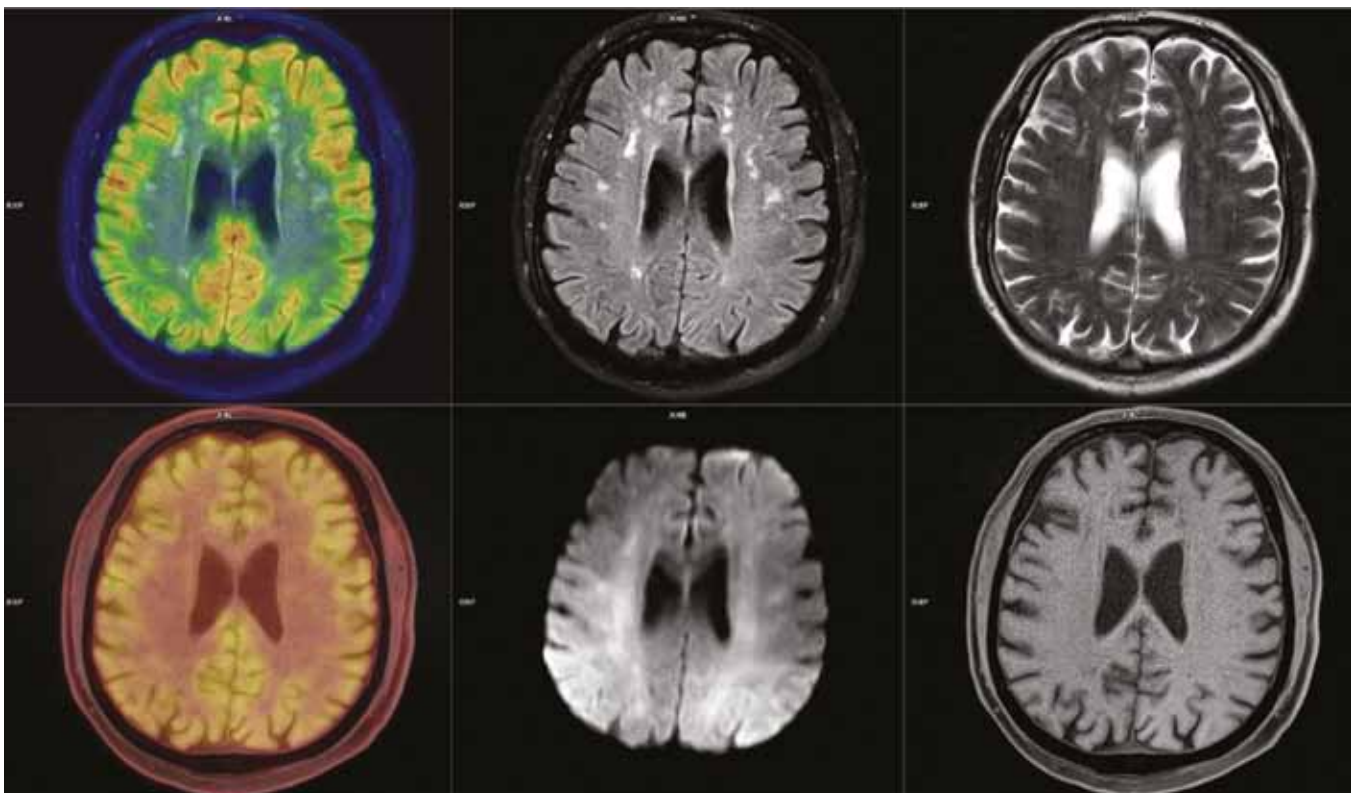
- 16** Nemocný s dominantním postižením mozkových funkcí během COVID-19 s dlouho trvajícími epizodickými hyperpyrexiami a syndromem nepřiměřené sekrece antidiuretického hormonu: (a) původní minimální postižení plic; (b) PET/CT akumulující plicní emboly ve větvích plicnice, kolitida v oblasti vzestupného tračníku a céka, prokázáno *Clostridium difficile*; (c,d) PET/MR provedeno při podání radiofarmaka při výše prezentovaném PET/CT, významné utlumení metabolické aktivity kortikální šedé hmoty a restrikce difuze v dorzální části bílé hmoty telencefala a vysoká intenzita kůry parietálních a týlních laloků



16c



16d



- 16** Male with the dominant brain involvement during the infection of the original variant of SARS-CoV-2, the clinical symptoms included periodical hyperpyrexia and syndrome of the inadequate secretion of vasopressin: (a) only mild finding in lung parenchyma at the time of the disease onset; (b) PET/CT during the development of the above-described brain involvement symptoms shows inflammation of the ascending colon and caecum, the *Clostridium difficile* was confirmed as a cause; (c,d) the application of the radiopharmaceutical was used to assess the brain neuronal activity with PET/MRI, the decreased activity of the cortical gray matter is seen when compared to basal nuclei. The restriction of diffusion of the white matter and also increased T2 signal within cortex of the parietal and temporal lobes is seen.

## LITERATURA

1. **Ai T, Yang Z, Hou H, et al.** Correlation of Chest CT and RT-PCR Testing for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in China A Report of 1014 Cases. *Radiology* 2020; 296(2): E32–E40. doi: 10.1148/radiol.2020200642
2. **Prokop M, van Everdingen W, van Rees Vellinga T, et al.** COVID-19 Standardized Reporting Working Group of the Dutch Radiological Society. CO-RADS: A Categorical CT Assessment Scheme for Patients Suspected of Having COVID-19-Definition and Evaluation. *Radiology* 2020; 296(2): E97–E104. doi: 10.1148/radiol.2020201473 [Epub 2020 Apr 27].
3. **Léonard-Lorant I, Delabranche X, Séverac F, et al.** Acute Pulmonary Embolism in Patients with COVID-19 at CT Angiography and Relationship to d-Dimer Levels. *Radiology* 2020; 296(3): E189–E191. doi: 10.1148/radiol.2020201561 [Epub 2020 Apr 23].
4. **Poyiadji N, Cormier P, Patel PY, et al.** Acute Pulmonary Embolism and COVID-19. *Radiology* 2020; 297(3): E335–E338. doi: 10.1148/radiol.2020201955 [Epub 2020 May 14].
5. **Bhayana R, Som A, Li MD, et al.** Abdominal Imaging Findings in COVID-19: Preliminary Observations. *Radiology* 2020; 297(1): E207–E215. doi: 10.1148/radiol.2020201908 [Epub 2020 May 11].
6. **Pan F, Ye T, Sun P, Gui S, et al.** Time Course of Lung Changes at Chest CT during Recovery from Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Radiology* 2020; 295(3): 715–721. doi: 10.1148/radiol.2020200370 [Epub 2020 Feb 13].
7. **Pallardy A, Rousseau C, Labbe C, et al.** Incidental findings suggestive of COVID-19 in asymptomatic cancer patients undergoing 18F-FDG PET/CT in a low prevalence region. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2021; 48(1): 287–292. doi: 10.1007/s00259-020-05014-3 [Epub 2020 Aug 28].
8. **Alavi A, Werner TJ, Gholamrezanezhad A.** The critical role of FDG-PET/CT imaging in assessing systemic manifestations of COVID-19 infection. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2021; 48: 1–7. doi: 10.1007/s00259-020-05148-4 [Epub ahead of print].
9. **Fu C, Zhang W, Li H, et al.** FDG PET/CT evaluation of a patient recovering from COVID-19. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2020; 47(11): 2703–2705. doi: 10.1007/s00259-020-04958-w [Epub 2020 Jul 15].
10. **Sollini M, Ciccarelli M, Cecconi M, et al.** Vasculitis changes in COVID-19 survivors with persistent symptoms: an 18F-FDG-PET/CT study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2020; 47: 1–7. doi: 10.1007/s00259-020-05084-3 [Epub ahead of print].
11. **Dietz M, Chironi G, Claessens YE, et al.** MONACOVID Group. COVID-19 pneumonia: relationship between inflammation assessed by whole-body FDG PET/CT and short-term clinical outcome. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2021; 48(1): 260–268. doi: 10.1007/s00259-020-04968-8 [Epub 2020 Jul 25].
12. **Bahloul A, Boursier C, Jeulin H, Imbert L, Mandry D, Karcher G, Marie PY, Verger A.** CT abnormalities evocative of lung infection are associated with lower 18F-FDG uptake in confirmed COVID-19 patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2021; 48(1): 282–286. doi: 10.1007/s00259-020-04999-1 [Epub 2020 Aug 18].
13. **Radmanesh A, Derman A, Lui YW, et al.** COVID-19-associated Diffuse Leukoencephalopathy and Microhemorrhages. *Radiology* 2020; 297(1): E223–E227. doi: 10.1148/radiol.2020202040 [Epub 2020 May 21].
14. **Poyiadji N, Shahin G, Noujaim D, et al.** COVID-19-associated Acute Hemorrhagic Necrotizing Encephalopathy: Imaging Features. *Radiology* 2020; 296(2): E119–E120. doi: 10.1148/radiol.2020201187
15. **Kremer S, Lersy F, de Sèze J, et al.** Brain MRI Findings in Severe COVID-19: A Retrospective Observational Study. *Radiology* 2020; 297(2): E242–E251. doi: 10.1148/radiol.2020202222 [Epub 2020 Jun 16]. PMID: 32544034; PMCID: PMC7301613.
16. **Morbelli S, Ekmekcioglu O, Barthel H, et al.** EANM Neuroimaging Committee. COVID-19 and the brain: impact on nuclear medicine in neurology. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2020; 47(11): 2487–2492. doi: 10.1007/s00259-020-04965-x