

přehledový článek

Současný přístup k diagnostice mnohočetného myelomu

Current approach to the diagnosis of multiple myeloma

Klaudia Schlachtová¹, Eva Korčáková¹, Jan Baxa¹, Alexandra Jungová²

¹Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

²Hematologicko-onkologické oddělení FN, Plzeň

Hlavní stanovisko práce

Zobrazovací metody hrají klíčovou roli v diagnostice, stagingu i sledování mnohočetného myelomu. Současnou metodou první volby dle mezinárodních doporučení představuje celotělové nízkodávkové CT.

SOUHRN

Schlachtová K, Korčáková E, Baxa J, Jungová A. Současný přístup k diagnostice mnohočetného myelomu

Správná volba zobrazovací modalit má zásadní dopad na přesnost diagnózy, stratifikaci rizika i optimalizaci léčebného postupu u pacientů s mnohočetným myelomem. Konvenční radiografie již není doporučována jako metoda první volby a současným standardem iniciálního vyšetření představuje celotělové nízkodávkové CT. Magnetická rezonance a hybridní metody mají zásadní význam zejména při hodnocení infiltrace kostní dřeně, extramedulárního postižení a při sledování léčebné odpovědi. Nově dostupná technologie photon-counting CT nabízí perspektivu dalšího zvýšení senzitivity bez nutnosti navýšení radiační zátěže. Cílem tohoto sdělení je podat stručný přehled jednotlivých zobrazovacích modalit a jejich přínos v problematice mnohočetného myelomu a zároveň přiblížit algoritmus aktuálního doporučeného vyšetřovacího postupu v případě podezření na mnohočetný myelom.

Klíčová slova: mnohočetný myelom, hematologie, onkologie, muskuloskeletální zobrazování, diagnostika.

Major statement

Imaging modalities play a crucial role in the diagnosis, staging, and follow-up of multiple myeloma. According to international guidelines, whole-body low-dose CT is currently the first-line modality of choice.

SUMMARY

Schlachtová K, Korčáková E, Baxa J, Jungová A. Current approach to the diagnosis of multiple myeloma

The appropriate choice of imaging modality has a major impact on diagnostic accuracy, risk stratification and optimization of therapeutic management in patients with multiple myeloma. Conventional radiography is no longer recommended as the first-line method, with whole-body low-dose CT now established as the standard initial examination. Magnetic resonance imaging and hybrid techniques are of particular importance in assessing bone marrow infiltration, extramedullary involvement and treatment response. The recently introduced photon-counting CT technology offers the prospect of further increasing sensitivity without additional radiation burden. This review aims to summarize the current imaging modalities and their respective contributions to the assessment of multiple myeloma, while also outlining the current diagnostic algorithm recommended in cases of suspected multiple myeloma.

Key words: multiple myeloma, hematology, oncology, musculoskeletal imaging, diagnosis.

Přijato: 1. 10. 2025

Korespondenční adresa:

MUDr. Klaudia Schlachtová
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN
alej Svobody 80, 304 60 Plzeň
e-mail: schlachtovak@fnplzen.cz

Konflikt zájmu: žádný.

ÚVOD

Mnohočetný myelom (MM) je maligní lymfoproliferativní onemocnění charakterizované infiltrací kostní dřeně klonálními plazmocytů. Tyto buňky produkují monoklonální imunoglobulin neboli paraprotein, který je nefunkční, hromadí se v organismu a způsobuje poškození tkání a orgánů.

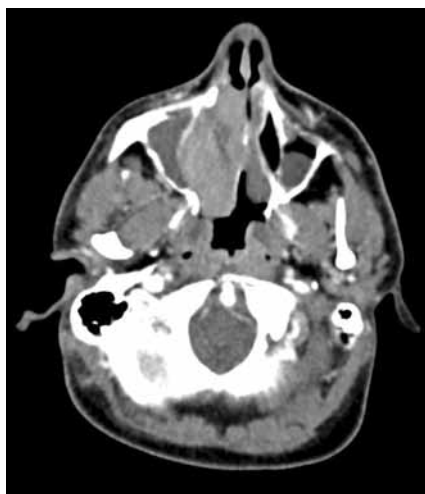
V České republice vykazuje incidence mnohočetného myelomu stabilně narůstající trend. Pohybuje se kolem 6,6 případů na 100 000 obyvatel ročně, to činí asi 665 nových pacientů za rok. Onemocnění je nepatrně častější u mužů, medián věku při stanovení diagnózy činí 69 let pro muže a 71 let pro ženy (1).

Prvotní klinické příznaky mnohočetného myelomu jsou značně nespecifické. Patří mezi ně slabost, únava, úbytek hmotnosti či bolesti zad. K rozvoji typických symptomů obvykle dochází až ve stadiu orgánových komplikací. Ty jsou známé pod zkratkou CRAB a řadíme sem hyperkalcemii, poškození ledvin, anemii a poškození kostí. Kostní postižení je nejčastějším z příznaků. Při stanovení diagnózy ho nacházíme u ⅔ pacientů a v průběhu nemoci se objeví téměř u všech. Poškození kostí zhoršuje kvalitu života a představuje hlavní příčinu morbidita a mortality pacientů (2, 3).

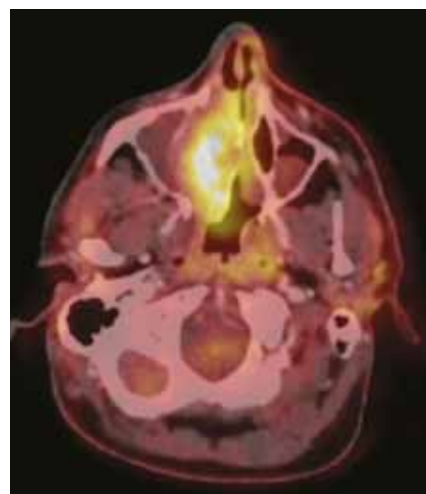
Mnohočetnému myelomu předcházejí různé dlouhá fáze monoklonální gamapatie nejasného významu (MGUS – monoclonal gammopathy of undetermined significance). Charakteristická je přítomnost méně než 10 % klonálních plazmatických buněk v kostní dřeni, koncentrací monoklonálního proteinu v séru méně než 30 g/l a nepřítomnosti orgánového poškození či klinických příznaků souvisejících s proliferací plazmocytů. Riziko progresu MGUS do mnohočetného myelomu je přibližně 1 % ročně.

Jednotkou mezi MGUS a symptomatickým mnohočetným myelomem je tzv. doutnající mnohočetný myelom (SMM – smoldering multiple myeloma). Ten se vyznačuje vyšší koncentrací monoklonálního proteinu v séru a infiltrací kostní dřeně více než 10 % klonálních plazmocytů, avšak dosud bez orgánového poškození, a tedy bez klinických symptomů. Riziko progresu SMM do mnohočetného myelomu je výrazně vyšší než u MGUS a dosahuje až 10 % ročně. Na zobrazovacích metodách

1a



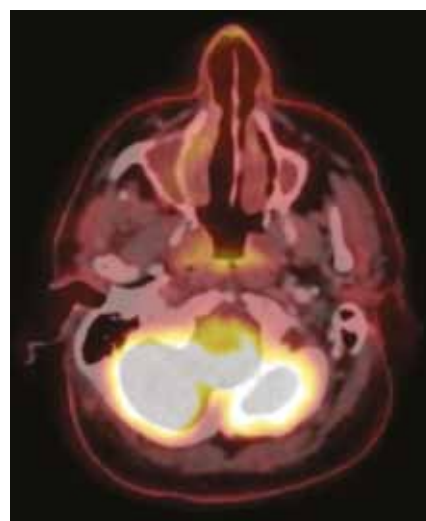
1b



1c



1d



1 Solitární plazmocytom nosní dutiny vpravo před léčbou (a, b) a po léčbě (c, d) – na obrázcích (a, c) CT s kontrastní látkou i.v.; na obrázcích (b, d) zachycena akumulace FDG na PET/CT
Solitary plasmacytoma of the right nasal cavity before (a, b) and after treatment (c, d) – images (a, c) show contrast-enhanced CT (i.v.); images (b, d) show FDG uptake on PET/CT

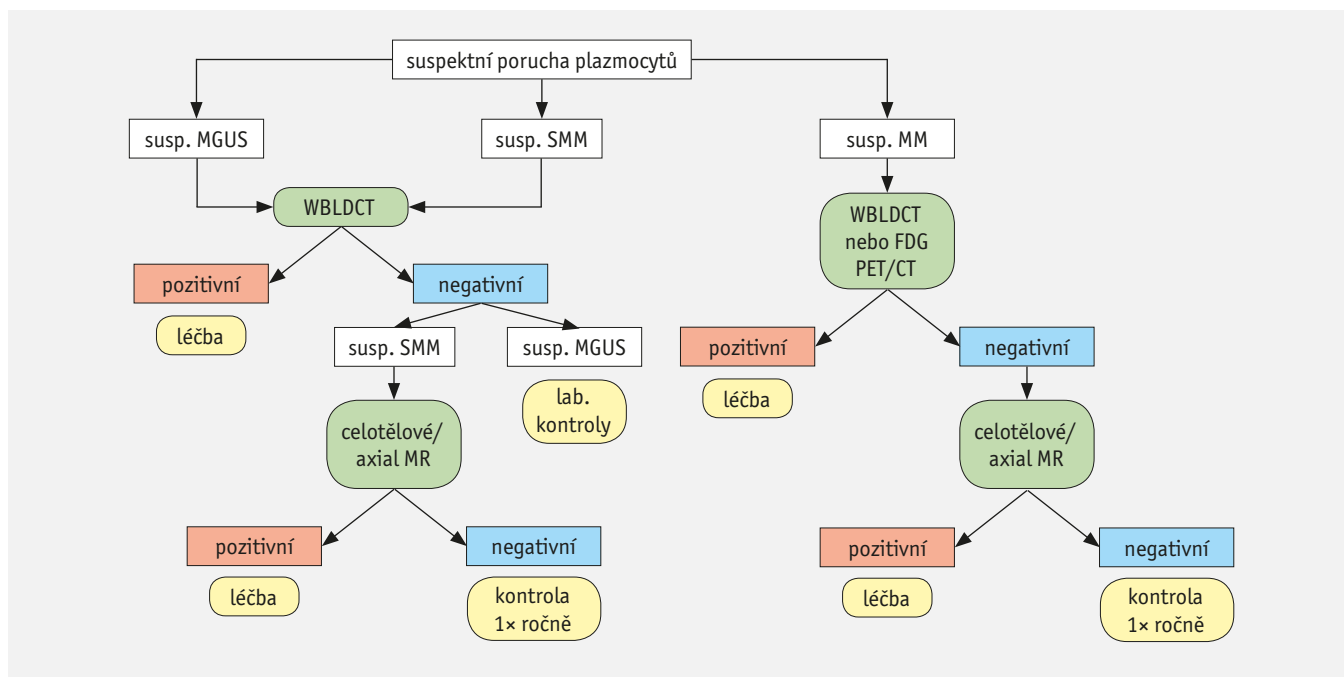
se u MGUS ani SMM typické osteolytické léze nenacházejí (4, 5).

Primárním cílem zobrazovacích metod v hodnocení monoklonálních gamapatií je průkaz kostního postižení ve formě osteolytických lézí na skeletu, proto jsou pacienti, zejména se SMM, pravidelně dispenzarizováni. Detekce těchto ložisek je jedním z kritérií stanovení diagnózy MM a tím zahájení adekvátní léčby.

Již u potvrzeného MM se na zobrazovacích metodách dá pozorovat i extramedulární postižení, které představuje nepříznivý prognostický znak. Dále se využívají k zhodnocení relapsu a detekci míst s potenciálním rizikem patologických zlomenin nebo neurologických komplikací. Důležitá je role také ve sledování aktivity onemocnění po léčbě, kde se využívají převážně hybridní metody (2).

SOLITÁRNÍ PLAZMOCYTOM

Zvláštní formou onemocnění je solitární plazmocytom. Jedná se o solitární lézi kosti či měkkých tkání tvořenou klonálními plazmatickými buňkami, bez průkazu jiného postižení kostí a současně chybějící či velmi nízkou infiltrací monoklonálních plazmocytů v kostní dřeni. Tito pacienti nemají poškození orgánů, a proto se u nich neprojevují symptomy CRAB. Solitární plazmocytom je vzácnou jednotkou, tvoří pouze 3 % všech nádorů z plazmatických buněk. Může se vyskytovat kdekoliv na těle, častější je kostní typ solitárního plazmocytomu, který se nejčastěji nachází v axiálním skeletu a lebce, kdežto méně častý extramedulární typ se nejčastěji nachází v oblasti hlavy a krku (obr. 1) (6).



2 Zjednodušený algoritmus vyšetření v případě podezření na poruchu plazmocytů adaptováno dle doporučení IMWG z roku 2019

Simplified diagnostic algorithm in case of suspected plasma cell disorder, adapted from IMWG recommendations from 2019

MGUS – monoklonální gamapatie nejasného významu/monoclonal gammopathy of undetermined significance, SMM – doutnající myelom/smoldering multiple myeloma, MM – mnohočetný myelom/multiple myeloma, WBLDCT – celotělové nízkodávkové CT/whole-body low-dose CT, IMWG – International Myeloma Working Group

Léčba

Přestože je mnohočetný myelom považován za nevyléčitelné onemocnění, současné léčebné možnosti významně prodloužily celkové přežití a zlepšily kvalitu života nemocných. V současnosti se až 40 % nemocných dožívá více než 10 let od stanovení diagnózy. V posledních dekádách bylo do klinické praxe uvedeno několik nových léků, které vedly až k dosažení tzv. MRD negativity (minimal residual disease), kdy všemi dostupnými testy není prokázán maligní klon plazmocytů ani známky aktivního onemocnění na zobrazovacích metodách. K nejvýznamnějším lékovým skupinám patří proteasomové inhibitory (např. bortezomib), imunomodulační látky (např. lenalidomid) či monoklonální protilátky (např. daratumumab). Svě místo v léčbě má stále i autologní transplantace kostní dřeně, a to zejména u mladších jedinců (1).

Diagnostická kritéria

Aktuálně platná diagnostická kritéria mnohočetného myelomu publikovaná Mezinárodní pracovní skupinou pro myelom (International Myeloma Working Group – IMWG) vyžadují pro stanovení diagnózy přítomnost více než 10 % klonálních plazmatických buněk v kostní

dřeni nebo histologicky potvrzený kostní či extramedulární plazmocytom. Diagnóza musí být dále podložena alespoň jednou skutečností související s myelomem tzv. myeloma defining event (MDE), které svědčí o orgánovém či tkáňovém poškození v důsledku infiltrace plazmatickými buňkami. Do této skupiny patří klasické CRAB příznaky (hyperkalcemie, renální insuficience, anemie, osteolytické léze) a dále biomarkerová kritéria SLiM (≥ 60 % klonálních plazmocytů v kostní dřeni, poměr volných lehkých řetězců ≥ 100 , přítomnost alespoň jednoho ložiska nad 5 mm na MR). Právě zobrazovací metody, zejména nízkodávkové celotělové CT, hrají klíčovou roli v detekci kostního postižení a umožňují časnější a přesnější stanovení diagnózy oproti dřívějším konvenčním přístupům (1, 4).

Algoritmus vyšetření

Při podezření na mnohočetný myelom, nejčastěji na základě laboratorního nálezu a klinických příznaků, by mělo být dle aktuálních mezinárodních doporučení prvním zobrazovacím vyšetřením celotělové nízkodávkové CT (whole-body low-dose CT – WBLDCT), případně PET/CT s ^{18}F -FDG. V případě pozitivního nálezu, tedy pokud je prokázána alespoň jedna osteolytická léze o velikosti nad 5 mm, je

indikováno zahájení terapie myelomu. Pokud je CT nebo PET/CT negativní, následuje doplnění magnetické rezonance (MR) (v rozsahu celého těla či alespoň osového skeletu), která má vyšší senzitivitu v detekci infiltrace kostní dřeně. Pokud MR prokáže alespoň jedno ložisko o velikosti nad 5 mm, je opět indikováno zahájení terapie. V případě negativního MR nálezu je doporučeno pravidelné sledování pomocí MR (např. 1krát ročně).

U pacientů s méně pokročilými formami plazmocelulárních poruch, jako je MGUS nebo doutnající myelom, se algoritmus liší podle míry rizika a výsledků ze zobrazovacích metod, přičemž v případě negativního nálezu je doporučena pravidelná dispenzarizace. Tento algoritmus odráží postupné začlenění moderních zobrazovacích metod jako klíčových nástrojů nejen pro diagnózu, ale i stratifikaci rizika a rozhodování o terapii (obr. 2) (7).

Konvenční radiografie

V minulosti byla hlavní diagnostickou metodou k posouzení skeletu u MM konvenční radiografie. Rentgenové vyšetření při podezření na MM zahrnuje snímky lebky ve dvou projekcích, hrudníku, páteře ve dvou projekcích, pánve, humerů a stehenních kostí. Periferní skelet se obvykle vzhledem k nízké pravděpodobnosti

3a



3b



3 Porovnání difuzního osteolytického postižení při MM v oblasti LS páteře s kompresivními frakturami obratlů u téhož pacienta: (a) RTG; (b) nízkodávkové CT

Comparison of diffuse osteolytic involvement in MM in the lumbar spine region with vertebral compression fractures in the same patient: (a) X-ray; (b) low-dose CT

výskytu MM nevyšetřuje. Jedná se o relativně jednoduchou metodu, která je snadno dostupná a levná. Typicky se myelomová léze v RTG obraze projeví jako ostře ohraničené projasnění bez sklerotického lemu, což se připodobňuje k defektu způsobenému průbojníkem. Tato ložiska se nejčastěji vyskytují na lebce, obratlích, žebrech či pánvi. Ve výjimečných případech lze na dlouhých kostech pozorovat i endostální scalloping.

Limitací RTG je výrazně nižší senzitivita pro detekci osteolytických lézí. Udává se, že k tomu, aby byla léze na RTG viditelná, musí být postiženo alespoň 50 % kosti (obr. 3). Hodnocení je obtížné především při souběžné osteoporóze u starších pacientů. RTG také neumožňuje hodnotit extramedulární složku plazmocytomu (5, 8).

CT

Standardem v zobrazování MM je v dnešní době WBLDCT, které je od roku 2015 doporučováno jako zobrazovací metoda první volby při podezření na mnohočetný myelom. Tato modalita kombinuje všechny vlastnosti požadované od screeningového vyšetření: vysokou senzitivitu, rychlost, komfort pro pacienta a přiměřenou radiační zátěž srovnatelnou s RTG. Samotné vyšetření trvá jen několik minut, přičemž akvizice obrazových dat probíhá v řádu sekund. WBLDCT se provádí v poloze vleže, s horními končetinami sepnutými na břiše, bez nutnosti jakékoliv speciální přípravy nebo aplikace kontrastní látky (obr. 4). Oproti konvenční radiografii má WBLDCT významně vyšší senzitivitu i specifitu v detekci osteolytických lézí a umožňuje přesnější zhodnocení rozsahu kostního

4a



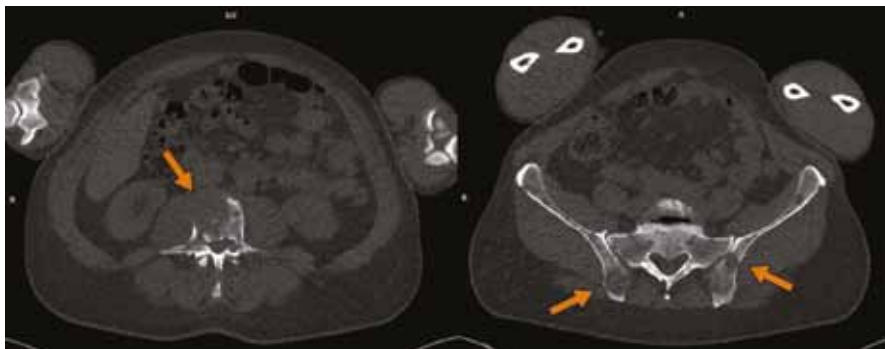
4b



4 Rozsah vyšetření a poloha pacienta při WBLDCT: (a) 3D VRT rekonstrukce; (b) MPR rekonstrukce v koronární rovině

Scanning range and patient position during WBLDCT: (a) 3D VRT reconstruction; (b) MPR reconstruction in the coronal plane

5a



5b



5 Typické osteolytické léze: (a) v axiálním skeletu; (b) lebce na WBLDCT
Typical osteolytic lesions: (a) in the axial skeleton; (b) in the skull on WBLDCT

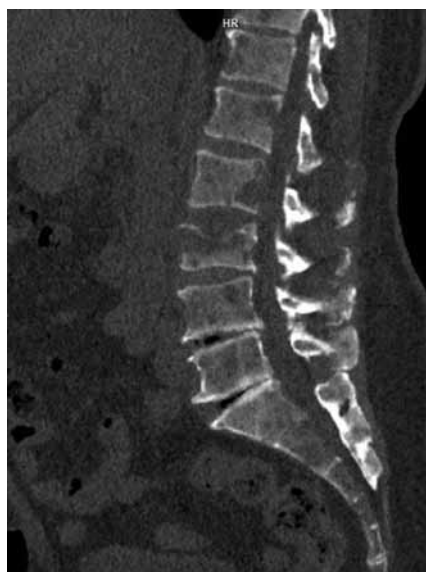
poškození. Zároveň poskytuje přehled o celém skeletu s minimální radiační zátěží, srovnatelnou či nižší než při vyšetření RTG (3).

Dalším významným technologickým pokrokem v zobrazování mnohočetného myelomu přineslo zavedení technologie photon-counting detektoru. Zásadní výhodou photon-counting CT (PCCT) je schopnost detektoru registrovat jednotlivé fotony a rozlišovat jejich energii, čímž se do značné míry sníží negativní vliv elektronického šumu. Výsledkem je lepší kvalita obrazu bez nutnosti navýšení radiační dávky. Díky menší velikosti pixelů nabízí PCCT vyšší prostorové rozlišení a lepší kontrast obrazu, což je zvláště významné při hodnocení kostních lézí, kde je potřeba detailní zobrazení jemných struktur. Na Klinice zobrazovacích metod FN Plzeň je technologie photon-counting CT využívána od roku 2022. V případě WBLDCT se efektivní radiační dávka pohybuje pod hodnotou 1,78 mSv. V kontextu mnohočetného myelomu tak PCCT představuje slibný nástroj pro přesnější detekci osteolytických ložisek a může dále zvýšit diagnostickou hodnotu celotělového nízkodávkového CT bez nutnosti navýšení radiační dávky (9, 10).

Typické nálezy na CT

Typickým nálezem mnohočetného myelomu na CT jsou osteolytická ložiska, definovaná jako projasnění větší než 5 mm. Tyto léze bývají dobře ohraničené, bez sklerotického lemu, často s destrukcí kortikalis (obr. 5). Obvykle vykazují densitu kolem 50 HU odpovídající infiltraci kostní dřeně plazmocytů. Naopak ložiska s nízkou či negativní densitou mohou představovat inaktivní

6a



6b



6 Komplikace MM – patologické fraktury: (a) kompresivní fraktura obratle L3; (b) patologická fraktura žebra v přední axilární čáře, oblasti fraktur označeny šipkami

Complications of MM – pathological fractures: (a) compression fracture of the L3 vertebra; (b) pathological fracture of a rib at the anterior axillary line, fracture sites are marked with arrows

změny po léčbě nebo tukovou kostní dřevě. Nejčastější lokalizace zahrnují axiální skelet (obratle, pánev), kalvu, femur a humerus. Při hodnocení kalvy je důležité odlišit osteolytické ložisko od arachnoidální granule či diploické lakuny, které mohou vzhledově imitovat osteolýzu, avšak bývají v typické lokalizaci u žilních splavů a je patrné jejich napojení na cévní kanálky či komunikace s intrakraniálním prostorem (11).

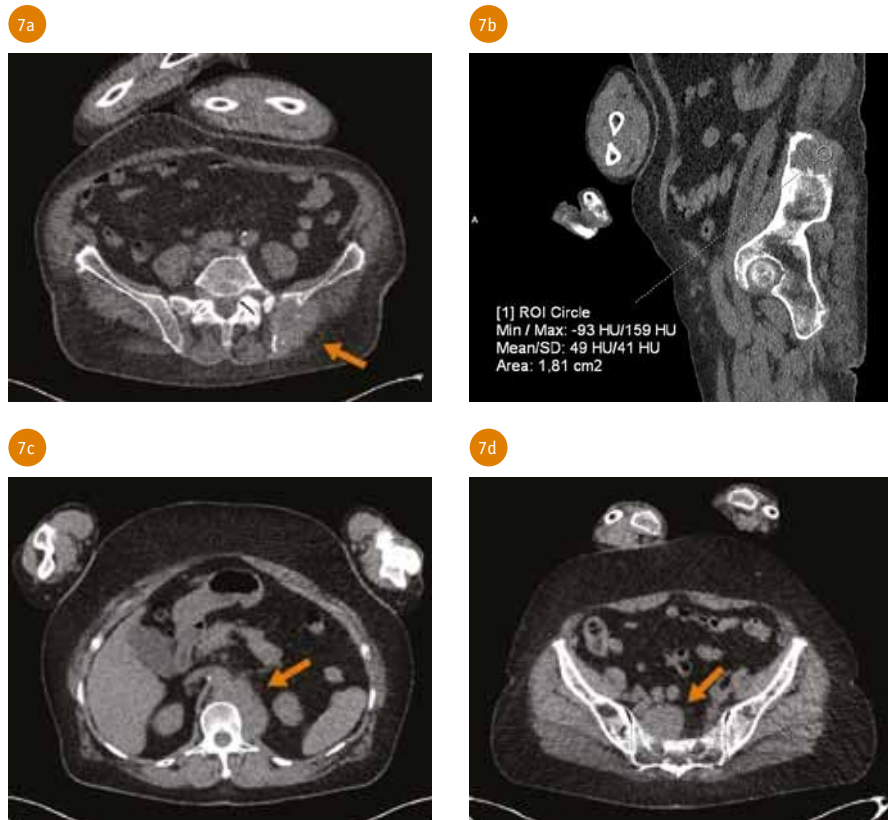
Vedle samotných ložisek lze na WBLDCT zachytit i komplikace osteolýzy, především patologické fraktury. Typické jsou kompresivní fraktury obratlových těl nebo fraktury žebér. Dalším nálezem je endostální scalloping, tedy fokální resorpce endostu se ztenčením kortikalis. V některých případech lze zobrazit i měkkotkáňové,

extramedulární expanze, které se jeví jako homogenní masy často navazující na osteolytické léze (obr. 6, 7).

Kromě osteolytických změn může být na CT patrné i zvýšení denzity kostní dřeně, typicky v trabekulární kosti dlouhých kostí (zejména femuru a humeru). Tento nález poukazuje na infiltraci dřeně myelomem a může mít charakter difúzní nebo nodulární (obr. 8) (9, 12).

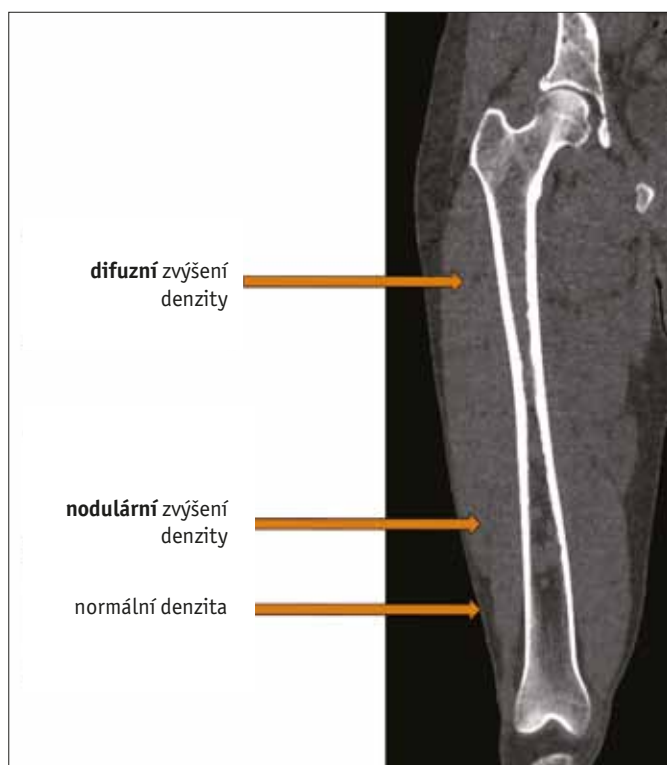
MR

MR je zobrazovací metodou s nejvyšší senzitivitou v detekci infiltrace kostní dřeně u MM. Je schopna odhalit patologická ložiska v kostní dřevě ještě před vznikem osteolytických změn v kosti a tím umožňuje včasnější diagnostiku onemocnění. Pro rutinní screening



7 Extramedulární léze u MM na WBLDCT, ložiska označena šipkami: (a, b) ložisko v pánvi u jednoho pacienta, na obrázku (b) s měřením denzity ložiska – průměrná hodnota 49 HU; (c, d) ložisko paravertebrálně a v pánvi u jednoho pacienta

Extramedullary lesion in MM on WBLDCT, lesions marked with arrows: (a, b) lesion in the pelvis in one patient, in image (b) with lesion density measurement – average value 49 HU; (c, d) paravertebral and pelvic lesion in another patient



8 Ukázka různých typů infiltrace kostní dřeně u MM na femuru a srovnání s normální denzitou kostní dřeně v WBLDCT obraze
Demonstration of different types of bone marrow infiltration in MM in the femur compared to normal bone marrow density on WBLDCT imaging

celého skeletu však není vzhledem k delší době vyšetření, horší dostupnosti a vyšší ekonomické náročnosti doporučena jako metoda první volby. MR je nicméně nepostradatelná v situacích, kdy je nutné posoudit rozsah infiltrace kostní dřeně, přítomnost měkkotkáňových expanzí či při podezření na kompresi míchy nebo míšních kořenů. Typicky se ložiska myelomu na T1 vážených obrazech zobrazují jako hyposignální, zatímco na T2 vážených sekvencích s potlačením signálu tuku bývají hypersignální (obr. 9, 10). Kromě morfologického zobrazení se stále více uplatňují i funkční techniky, zejména difúzně vážené zobrazení (DWI), které umožňuje kvantitativní hodnocení infiltrace kostní dřeně a představuje perspektivní nástroj pro monitoraci léčebné odpovědi (8, 13).

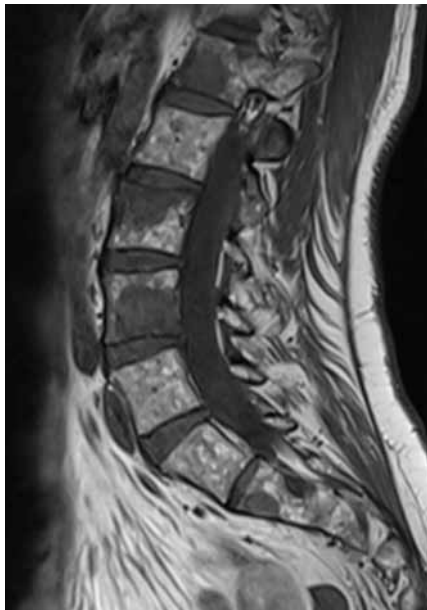
Hybridní metody

PET/CT s použitím ^{18}F -FDG dokáže detekovat ložiska myelomu s vysokou senzitivitou a specifitou a bylo v doporučeních IMWG z roku 2019 zařazeno jako vhodná zobrazovací metoda pro vstupní vyšetření nově diagnostikovaného MM. Zároveň má tato modalita výhodu v tom, že v rámci jednoho vyšetření umožňuje zhodnotit jak kostní, tak extraoseální postižení tkání. Nejvýznamnějším přínosem PET/CT je však schopnost přesně posoudit aktivitu onemocnění a rozlišit mezi tzv. metabolicky aktivními a neaktivními lézemi. Hybridní metody tedy nacházejí uplatnění při sledování pacientů po léčbě, kdy se hodnotí míra akumulace ^{18}F -FDG k posouzení reziduální aktivity onemocnění a k detekci extramedulárních ložisek (viz obr. 1). Tato modalita nabízí vysokou senzitivitu, nicméně jejich širší využití limituje vyšší finanční náročnost a nižší dostupnost. Limitací PET/CT je i vyšší radiační zátěž ve srovnání s WBLDCT (14–16).

ZÁVĚR

Jednotlivé zobrazovací modalitty mají v diagnostice mnohočetného myelomu své specifické výhody i limity. Konvenční radiografie (RTG) je sice levná a široce dostupná, nicméně vyznačuje se nízkou senzitivitou, vyšetření je zdlouhavé a vzhledem k těmto limitům již není doporučována pro screening MM. Magnetická rezonance (MR) disponuje

9a



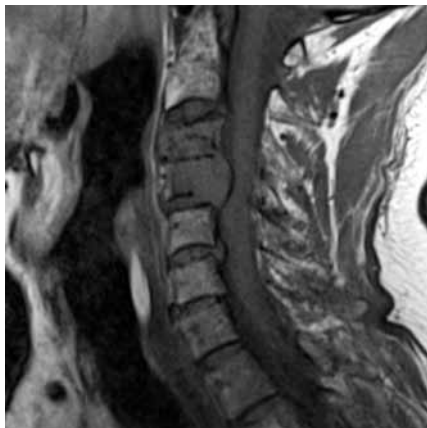
9b



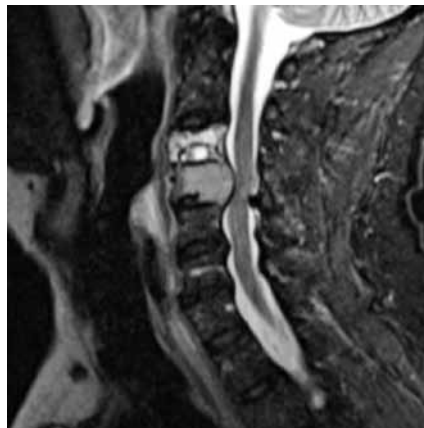
9 Ložiska myelomu v obratlových tělech bederní páteře a sakra: (a) v T1 váženém obraze (hyposignální); (b) v T2 váženém obraze s potlačením signálu tuku (hyper-signální)

Myeloma lesions in the vertebral bodies of the lumbar spine and sacrum: (a) in T1-weighted image (hypointense); (b) in T2-weighted image with fat signal suppression (hyperintense)

10a



10b



10 Komprese míchy extramedulární složkou myelomu v úrovni C4: (a) v T1 váženém obraze; (b) v T2 váženém obraze s potlačením signálu tuku

Spinal cord compression by an extramedullary component of myeloma at the C4 level: (a) in T1-weighted image; (b) in T2-weighted image with fat signal suppression

nejvyšší senzitivitou v detekci infiltrace kostní dřeně, ale její rutinní využití je omezeno nižší dostupností, delším trváním vyšetření a nižším komfortem pro pacienty. V praxi je MR indikována spíše pro cílené zobrazení, sledování nebo v případě podezření na neurologické komplikace. Hybridní metody, zejména PET/CT s ^{18}F -FDG, umožňují hodnotit jak skeletální, tak extraskelální postižení, jsou vysoce senzitivní a velmi vhodné pro sledování efektu terapie. Jejich širší nasazení je však limitováno nižší dostupností, vyšší radiační zátěží a vyššími náklady. Za metodu první volby v diagnostice kostního postižení u MM je v současnosti považováno celotělové nízkodávkové CT, které kombinuje rychlost, vysoký komfort pro pacienta, dobrou senzitivitou a přijatelnou radiační zátěž (tab. 1) (8). ●

Tab. 1. Porovnání jednotlivých zobrazovacích modalit v zobrazování mnohočetného myelomu

Table1. Comparison of imaging modalities in the imaging of multiple myeloma

	Výhody	Nevýhody
RTG	- nízká cena - dobrá dostupnost	- nízká senzitivita - dlouhá doba vyšetřením - nemožnost hodnocení kostní dřeně
WBLDCT	- vyšší senzitivita ke kostním lézím - rychlost, komfort pacienta - nízká radiační dávka - posouzení extramedulárních lézí - nižší cena proti MR a PET/CT	- vyšší cena než RTG - nelze dostatečně hodnotit infiltraci kostní dřeně a odpověď na léčbu
MR	- nejvyšší senzitivita - hodnocení infiltrace kostní dřeně a útlaky míchy - bez radiační zátěže	- horší dostupnosti - vyšší cena - delší doba akvizice - nižší komfort pacienta - kontraindikace MR
Hybridní metody	- vyšší senzitivita - sledování efektu terapie - posouzení extramedulárních lézí	- horší dostupnosti - vyšší cena - delší doba akvizice - radiační zátěž

LITERATURA

1. Transfuze a hematologie dnes: Diagnostika a léčba mnohočetného myelomu 2023. Online. 2023; 29. Dostupné na: <https://www.myeloma.cz/res/file/guidelines/2023-transfuze-hematologie-dnes.pdf>
2. **Zamagni E, Tacchetti P, Cavo M.** Imaging in multiple myeloma: How? When? *Blood* 2019; 133(7): 644–651. doi:<https://doi.org/10.1182/blood-2018-08-825356>
3. **Minarik J, Krhovska P, Hrbek J, et al.** Prospective comparison of conventional radiography, low-dose computed tomography and magnetic resonance imaging in monoclonal gammopathies. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub.* 2016; 160(2): 305–309. doi:[10.5507/bp.2015.064](https://doi.org/10.5507/bp.2015.064)
4. **Rajkumar SV, Dimopoulos MA, Palumbo A, et al.** International Myeloma Working Group updated criteria for the diagnosis of multiple myeloma. *Lancet Oncol.* 2014; 15(12): e538–e548. doi:[10.1016/S1470-2045\(14\)70442-5](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(14)70442-5)
5. **Michalska-Foryszewska A, Rogowska A, Kwiatkowska-Miernik A, et al.** Role of Imaging in Multiple Myeloma: A Potential Opportunity for Quantitative Imaging and Radiomics? *Cancers* 2024; 16(23): 4099. Available from: <https://doi.org/10.3390/cancers16234099>
6. **Rodríguez-Laval V, Lumberras-Fernández B, Aguado-Bueno B, et al.** Imaging of Multiple Myeloma: Present and Future. *J Clin Med.* 2024; 13(1): 264. doi:[10.3390/jcm13010264](https://doi.org/10.3390/jcm13010264)
7. **Hillengass J, Usmani S, Rajkumar SV, et al.** International myeloma working group consensus recommendations on imaging in monoclonal plasma cell disorders. *Lancet Oncol.* 2019; 20(6): e302–e312. doi:[10.1016/S1470-2045\(19\)30309-2](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30309-2)
8. **Lee K, Kim KW, Ko Y, et al.** Comprehensive Updates in the Role of Imaging for Multiple Myeloma Management Based on Recent International Guidelines. *Korean J Radiol.* 2021; 22(9): 1497–1513. Available from: <https://doi.org/10.3348/kjr.2020.0886>
9. **Pierro A, Posa A, Astore C, et al.** Whole-Body Low-Dose Multidetector-Row CT in Multiple Myeloma: Guidance in Performing, Observing, and Interpreting the Imaging Findings. *Life (Basel)* 2021; 11(12): 1320. Published 2021 Nov 30. doi:[10.3390/life11121320](https://doi.org/10.3390/life11121320)
10. **Schlachtová K.** Quality of the whole-body low-dose scan: photon-counting detector CT vs. energy-integrating detector CT (Poster presentation). European Congress of Radiology, Vienna2025. Available from: <https://dx.doi.org/10.26044/ecr2025/C-10844>
11. **Lambert L, Straub J, Mecková Z, et al.** Nízkodávková výpočetní tomografie skeletu v hodnocení stadia mnohočetného myelomu. *Transfuze a hematologie dnes* 2016; 22(4): 238–242.
12. **Nishida Y, Matsue Y, Suehara Y, et al.** Clinical and prognostic significance of bone marrow abnormalities in the appendicular skeleton detected by low-dose whole-body multidetector computed tomography in patients with multiple myeloma. *Blood Cancer Journal* 2015; 5: e329. Available from: <https://doi.org/10.1038/bcj.2015.57>
13. **Torkian P, Mansoori B, Hillengass J, et al.** Diffusion-weighted imaging (DWI) in diagnosis, staging, and treatment response assessment of multiple myeloma: a systematic review and meta-analysis. *Skeletal Radiol.* 2023; 52: 565–583. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00256-022-04119-0>
14. **Pop VS, Tomoaia G, Parvu A.** Modern imaging techniques for monitoring patients with multiple myeloma. *Med Pharm Rep.* 2022; 95(4): 377–384. doi:[10.15386/mpr-2215](https://doi.org/10.15386/mpr-2215)
15. **Guha A, Vijan A, Agarwal U, et al.** Imaging for Plasma Cell Dyscrasias: What, When, and How? *Front Oncol.* 2022; 12: 825394. Published 2022 Mar 24. doi:[10.3389/fonc.2022.825394](https://doi.org/10.3389/fonc.2022.825394)
16. **Havel M, Jelínek T, Pour L, et al.** Standardizace ¹⁸F-FDG PET/CT u pacientů s mnohočetným myelomem: Společné doporučení České myelomové skupiny a České společnosti nukleární medicíny. *Nukleární medicína [online]* 2023; 12(2): 22–26. Dostupné na: <https://www.prolekare.cz/casopisy/nuklearni-medicina/2023-2-18/standardizace-18f-fdg-pet-ct-u-pacientu-s-mnohocetnym-myelomem-spolecne-doporuceni-ceske-myelomove-skupiny-a-ceske-spolecnosti-nuklearni-mediciny-134637>