

Využitie rádiogenomiky v diagnostike nádorov prostaty – prehľad a perspektívy

Dávid Kocan

Rádiologická klinika, Národný ústav srdcových a cievnych chorôb, Bratislava
Ústav patologickej anatómie, Lekárska fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave

V dobe sústavne sa rozvíjajúcich nástrojov umelej inteligencie je rádiogenomika schopná poskytnúť personalizovaný prístup k detekcii a diagnostike nádorových ochorení prostaty. Primárnym cieľom tohto systematického prehľadu je zhrnúť súčasný stav poznania a využitia rádiomiky, genomiky a rádiogenomiky v oblasti PCa a zhodnotiť ich prínos v diagnostickom algoritme. Zistenia sú konfrontované s výsledkami aktuálne prebiehajúcich štúdií a ďalšími publikovanými prácami, vrátane porovnania s nádormi pľúc.

Kľúčové slová: nádory prostaty, biomarkery, rádiogenomika, rádiomika, multiparametrické MRI, personalizovaná medicína

The use of radiogenomics in the diagnosis of prostate tumours - a review and perspectives

Summary

In an era of rapidly evolving artificial intelligence tools, radiogenomics offers a personalized approach to the detection and diagnosis of prostate cancer. The primary aim of this systematic review is to summarize the current state of knowledge and the applications of radiomics, genomics, and radiogenomics in PCa, and to evaluate their contribution to the diagnostic algorithm. The findings are compared with ongoing studies and other published work, including parallels with lung cancer.

Key words: prostate cancer, biomarkers, radiogenomics, radiomics, multiparametric magnetic resonance imaging, personalized medicine

NewsLab, 2025, roč. 15 (2): 44-48

Úvod

Nádorové ochorenia prostaty predstavujú pri narastajúcej incidencii a prevalencii v populácii stále intenzívne diskutovanú tému. Pretrvávajúcou otázkou, a to aj podľa súčasných odporúčaní Európskej urolologickej spoločnosti, zostáva zavedenie populačného skríningu. Dôkazom významného postavenia tejto problematiky je aj aktuálne prebiehajúci Populačný pilotný program včasného záchytu karcinómu prostaty realizovaný v Českej republike. Jeho cieľom, je nastavenie a vyhodnotenie postupov určených pre včasný záchyt ochorenia. Do diagnostického algoritmu sa zároveň postupne dostáva aj aktuálne diskutovaná téma prepojenia rádiomiky a genomiky, ako aj ich kombinácie, s cieľom ešte presnejšieho záchytu klinicky významného karcinómu prostaty (1).

Prínos rádiomiky, genomiky a rádiogenomiky

Rádiogenomika, ako interdisciplinárny prístup spájajúci rádiomiku (kvantitatívnu analýzu zobrazovacích dát) a genomiku (štúdium genetických a molekulárnych profilov nádorov), môže poskytnúť presné zobrazovacie biomarkery, ktoré by v niektorých prípadoch mohli nahradiť genetické testovanie. Biomarkery rádiomiky a rádiogenomiky majú potenciál predikovať riziko aj terapeutické výsledky a môžu byť využité na personalizáciu liečby v rámci jednotlivých terapeutických možností. Na ich validáciu sú však nevyhnutné

rozsiahlejšie prospektívne štúdie a ďalšia štandardizácia metodických prístupov (2).

Súčasnne postavenie zobrazovacích metód vrátane hybridných

Ako uvádzajú Wei a kol., výsledky MULTIPROS štúdie potvrdili, že prebioptické multiparametrické MRI je presné pri zobrazovaní klinicky významného karcinómu prostaty (csPCa). Kombinácia fúznej biopsie s využitím USG/MRI zobrazenia so systematickou biopsiou odhalila viac klinicky významných lézií než samotná systematická biopsia. V ich prospektívnej, randomizovanej štúdii, realizovanej v období január 2015 – august 2020, bolo zahrnutých 582 pacientov (priemerný vek 65 ± 6 rokov), ktorí absolvovali mpMRI. U 413 z nich bolo PI-RADS skóre ≥ 3. MpMRI správne identifikovalo 131 zo 182 csPCa lézií u 89 mužov (senzitivita 72 %). Špecificita, pozitívna a negatívna prediktívna hodnota boli 71 % (91/128), 78 % (131/168) a 64 % (91/142) (3).

Multiparametrická MRI (mpMRI) sa v súčasnosti používa na zobrazenie nádoru, lokálno-regionálny staging, sledovanie pacientov v rámci aktívneho dohľadu (active surveillance) a na vyhodnotenie terapeutickú odpovede. Fúzia TRUS/MRI vo všeobecnosti zlepšuje výťažnosť transrektálnych biopsií. Zobrazovanie pomocou prostatického špecifického membránového antigénu (PSMA) v PET vyšetreniach je etablovanou metódou na hodnotenie biochemickej recidívy. PSMA PET/CT je

nadradená konvenčným zobrazovacím metódam pri určovaní N a M štádia. PET/MRI navyše zvyšuje senzitivitu pri detekcii karcinómu prostaty (4).

Väčšina prác s využitím PET/MRI sa zameriavala na re-staging karcinómu prostaty po liečbe, pričom diagnostika dominantnej lézie a jej charakterizácia pomocou PET/MRI sa v posledných rokoch stáva predmetom rastúceho záujmu, najmä v súvislosti s vývojom rádioligandov špecifických pre PSMA. Nedávno publikované štúdie ukázali, že PSMA PET/MRI môže zlepšiť diagnostiku PCa v porovnaní so samotnou mpMRI. Štúdia Ferrara a kol. preukázala senzitivitu 96 % a špecificitu 81 %. Ďalšie práce Parka a kol. a Hicksa a kol. ukázali, že 68Ga-PSMA-11 PET/MRI má vyššiu pozitívnu prediktívnu hodnotu než mpMRI pri bilaterálnych nádoroch (70 % oproti 18 %) (5)

Nové pokročilé MRI sekvencie

S rastúcim záujmom o kombináciu MRI dát s klinickými a genomickými údajmi sa adekvátne zvyšuje aj využitie rádiomiky a rádiogenomiky. Takto získané informácie možno využiť pri vývoji nových diagnostických nástrojov založených na automatickej segmentácii a detekcii klinicky významného karcinómu prostaty (PCa) pomocou metód strojového učenia. Do popredia sa dostávajú viaceré pokročilé prístupy v tejto oblasti diagnostiky.

1. Difúzne vážené metódy

a) Restriction spectrum imaging (RSI) - pokročilá difúzne vážená technika, ktorá používa viacnásobné získavanie difúzie s vopred definovaným rozsahom hodnôt b-koeficientu.

b) VERDICT - vaskulárna, extracelulárna a difúzia s reštrikciou pre cytometriu v nádoroch

VERDICT pracuje s modelmi s rôznymi difúznymi časmi a difúznymi váženiami a priraduje signál DWI k trom hlavným zložkám: intracelulárnej tekutine, tekutine v extracelulárnom extravaskulárnom priestore a vaskulárnej tekutine v sieti kapilár.

c) DWIBS - Zoom DWI a difúzne-vážené celotelové zobrazenie s potlačením okolitého signálu - zlepšuje kvalitu obrazu a znižuje skreslenie obrazu pri MRI prostaty.

2. MRI metódy na báze perfúzie

a) DCE-MRI - poskytuje informácie o vaskularite nádoru získaním série snímok pomocou 3D T1 váženej rýchlejšej gradientnej echo sekvencie s vysokým časovým rozlíšením po podaní kontrastnej látky

b) Arterial Spin Labeled (ASL) - MRI ASL meria úroveň perfúzie v tkanive bez použitia exogénnej kontrastnej látky a vo veľkej miere sa používa v mozgu a obličkách. Potenciál zobrazovania prostaty ASL je pomocou modifikovanej sekvencie FAIR (spatially confined flow-sensitive alternating inversion recovery)

3. Metódy MR spektroskopie - Proton MRS/MRSI

S rastúcim záujmom o kombináciu MRI dát s klinickými a genomickými informáciami sa primerane zvyšuje aj využitie rádiomiky a rádiogenomiky. Takto získané údaje je možné využiť pri vývoji nových diagnostických nástrojov založených na automatickej segmentácii a detekcii klinicky významného karcinómu prostaty pomocou metód strojového učenia. Nižšie uvádzame viaceré pokročilé prístupy v tejto oblasti diagnostiky (6).

Rádiomika

Rádiomika je kvantitatívna metóda používaná na analýzu údajov získaných zo zobrazovacích vyšetrení, vrátane mpMRI, na hodnotenie nádorových ochorení (vrátane karcinómu prostaty – PCa), ale aj iných patologických procesov. Jej cieľom je extrahovať veľké množstvo kvantitatívnych znakov zo zobrazovacích dát a využiť ich na tvorbu modelov schopných klasifikovať a predikovať rôzne aspekty PCa, ako sú diagnostika, prognóza či odpoveď na liečbu (7).

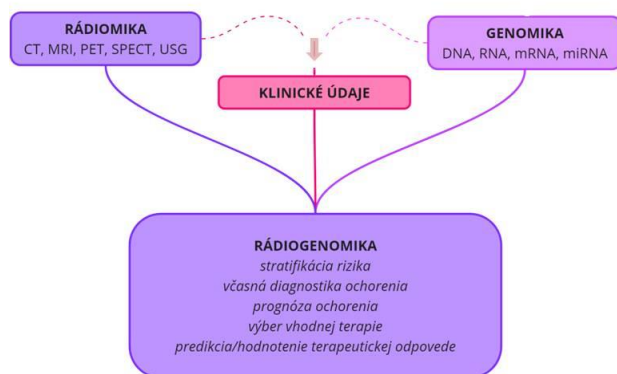
Dominguez a kol. publikovali prácu zameranú na tvorbu modelu strojového učenia (ML) pre diagnostiku klinicky významného karcinómu prostaty (csPCa) podľa Gleason skóre (GS), založeného na rádiomických parametroch biparametrického MRI (bpMRI) a klinických údajoch. Do retrospektívnej štúdie bolo zaradených 86 hispánskych mužov (vek $60 \pm 8,2$ roka, medián PSA denzity [PSA-D] $0,15 \text{ ng/mL}^2$) s PCa, ktorí absolvovali 3T MRI pred biopsiou, nasledovanou cieľovou MRI-USG fúznou a systematickou biopsiou. Dvaja nezávislí examinátori vykonali 2D segmentáciu lézií v T2-vážených obrazoch a ADC mapách. Klinicky významný nádor bol definovaný ako $GS \geq 7$, nevýznamný ako $GS = 6$. Výsledky ukázali, že rádiomické charakteristiky z T2-vážených obrazov a ADC máp sú asociované s Gleason skóre. Odvođené skóre z týchto črt sa preto javí ako významný marker pri hodnotení agresivity PCa (8).

CT a vzájomná korelácia rádiomických charakteristík s cirkulujúcimi nádorovými bunkami

Integrácia tekutej biopsie cirkulujúcich nádorových buniek (CTC) a bezbunkovej DNA (cell-free DNA, cfDNA) s ďalšími minimálne invazívnymi metodikami môže priniesť komplexnejší pohľad na ochorenie. Morrison a kol. skúmali prínos súbežnej bunkovej a molekulárnej analýzy CTC a cfDNA v kombinácii s rádiomickou analýzou CT vyšetrení u pacientov s metastatickým karcinómom prostaty rezistentným na kastráciu (mCRPC). Rádiomická analýza preukázala koreláciu s počtom CTC a s hladinou cfDNA v plazme. Integrácia bunkových, molekulárnych a rádiomických údajov v rámci multiparametrického prístupu sa ukazuje ako možná a prínosná stratégia pre komplexnejšie modelovanie a predikciu ochorenia (9).

Kľúčové zistenia v prípade kombinácie MRI a nástrojov umelej inteligencie

MRI v kombinácii s nástrojmi umelej inteligencie (AI) prináša významné zlepšenie nielen v samotnej detekcii, ale aj v presnejšej lokalizácii nádorov prostaty. Diagnostický a prognostický prínos spočíva najmä v znížení závislosti od invazívnych biopsií a v efektívnejšom plánovaní liečby. Problémy s interpretovateľnosťou modelov AI si však vyžadujú multicentrické štúdie a širšie overenie. Manažment karcinómu prostaty zaznamenal revolučný posun vďaka využitiu AI pri MRI, ktoré výrazne zlepšilo detekciu a lokalizáciu nádorov. Tieto pokroky, spolu so schopnosťou AI predikovať priebeh ochorenia po liečbe – napríklad riziko biochemickej recidívy – predstavujú významný prínos pre patientsky orientovanú zdravotnú starostlivosť (10).



Obr. 1 Schéma prepojenia rádiomiky a genomiky

Prepojenie metodík (rádiomika a genomika) – vlastné spracovanie podľa Mytsyk a kol. (18)

Genomika

Genomika zahŕňa hodnotenie genomických markerov, ktoré sú prítomné v biopsiách nádorov (11). Využíva kombináciu rekombinantnej DNA, metód sekvenovania DNA a bioinformatiky na sekvenovanie, zostavovanie a analýzu štruktúry a funkcie genómov. Genomické biomarkery, overené ako nezávislé prediktory, sa v súčasnosti čoraz viac uplatňujú v klinickej praxi pri rozhodovaní o liečbe pacientov s karcinómom prostaty (PCa). V súčasnosti sú schválené a dostupné tri genomické testy: Oncotype Dx, Prolaris a Decipher. Dalším skúmaným tkanivovým biomarkerom je mutovaný tumor-supresorový gén fosfatáza a tenzín homolog (PTEN), ktorý sa hodnotil aj v rámci rádiogenomiky karcinómu prostaty v kombinácii s údajmi z celoexómového sekvenovania DNA (12).

Rádiogenomika

Rádiogenomika predstavuje vysoko personalizovaný prístup, ktorý má potenciál stať sa budúcnosťou stratifikácie rizika pri karcinóme prostaty (PCa). Jej prínos

spočíva v schopnosti zachytiť heterogenitu ochorenia, ktorá často komplikuje diagnostiku. Aj keď je potrebný ďalší výskum špecifických biomarkerov, súčasne dostupné tri genomické panely poskytujú solídny základ pre nadväzujúce štúdie:

- Prolaris® test (Myriad), využívajúci hodnotenie rizika bunkového cyklu (CCR), preukázal silnú asociáciu medzi CCR skóre a extrakapsulárnym šírením nádoru.
- Kontrastné MRI charakteristiky nádorov v periférnej zóne vykazujú významnú súvislosť s Gleasonovým skóre a stratou expresie PTEN.
- Decipher génový panel v kombinácii s Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK) ukázal silnú koreláciu medzi Gleasonovým skóre a výsledkami testu (11)

Súčasný výzvy a limitácie rádiogenomiky

Rádiogenomika predstavuje veľký prísľub, avšak ide o relatívne novú oblasť výskumu, ktorá so sebou prináša viaceré limitácie. Za posledných päť rokov bolo publikovaných len niekoľko štúdií zameraných na karcinóm prostaty (PCa) a jej praktické využitie v klinickej medicíne zatiaľ nebolo jednoznačne ustanovené (12).

Rádiopatologická integrácia poznatkov a jej úskalia

Diagnostický proces karcinómu prostaty (PCa) má stále svoje slabé stránky. Medzi ne patria falošne pozitívne nálezy na mpMRI, ktoré môžu súvisieť s prostatitídou, stromálnymi a hyperplastickými uzlami alebo uzlami s hemoragickým obsahom v tranzitórnej zóne. Takéto lézie sa často klasifikujú ako PI-RADS 3 alebo vyššie, čo vedie k nadužívaniu biopsií. Podobne, chybná segmentácia podozrivých ložísk môže viesť k odberu vzorky z nesprávneho miesta. Napokon, aj chyby v histologickej interpretácii môžu spôsobiť nesprávnu klasifikáciu nádorových ložísk alebo ich úplné prehliadnutie, čo môže viesť k podhodnoteniu lézií mpMRI pôvodne označených ako klinicky významný karcinóm prostaty (csPCa) (13).

Význam zavedenia multidisciplinárnych tímov

Zriadenie spoločného rádiologicko-patologického tumor boardu by mohlo pomôcť odhaliť a vyriešiť diagnostické nezrovnalosti ešte pred konečným rozhodnutím. Tým by sa znížila diagnostická neistota aj psychologická záťaž pôsobiaca na lekárov a pacientov, podobne ako je to zaužívané pri manažmente karcinómu prsníka. Diskutovať by sa mali najmä lézie so stredným skóre PI-RADS alebo tie, ktoré sa nachádzajú v zložitejších lokalitách. V prípadoch so skóre PI-RADS 4 a vyšším, kde existujú rádiologicko-patologické diskrepancie, by multidisciplinárny prístup mohol pomôcť odhaliť chyby, ako sú falošne pozitívne nálezy na mpMRI alebo odber bioptickej vzorky z nesprávnej oblasti. Dôležitou otázkou je aj voľba typu biopsie – cieľená alebo satračná biopsia podozrivých lézií pomocou mpMRI by mohla znížiť počet

opakovaných zákrokov, a tým aj riziko komplikácií. Onkologickým centráram sa preto odporúča preberať jednotlivé prípady v multidisciplinárnych tímoch (13).

Diskusia

Z metaanalýzy publikovanej Castaldo a kol. vyplýva, že do nej bolo zahrnutých 37 štúdií, z ktorých 29 bolo nakoniec spracovaných. Analýza využitia metód strojového učenia na detekciu karcinómu prostaty (PCa) ukazuje na ich obmedzené použitie a nedostatok štandardizácie, čo bráni širšej implementácii týchto prístupov v klinickej praxi (14).

Parciálne odlišná situácia je pri využívaní nástrojov umelej inteligencie (AI) v diagnostike nádorových ochorení pľúc. Podobne ako pri PCa, aj tu prebieha intenzívna diskusia o ich prínose, avšak v tejto oblasti je progres v poznatkoch a štandardizácii výraznejší. Chassagnon a kol. vo svojom prehľade opisujú používanie nástrojov AI v klinickej praxi pre nádory hrudníka. Súčasné štúdie sa podľa ich zistení zameriavajú najmä na redukciu falošne pozitívnych nálezov pri detekcii pľúcnych nodulov, s dôrazom na ich ďalšiu charakterizáciu (napr. volumetria). Okrem využitia AI v rámci National Lung Cancer Screening Trial (NLST) sa tieto prístupy uplatňujú aj pri tzv. virtuálnej biopsii, ktorá umožňuje predikciu terapeutickú odpoveď a prežívania pacientov (15).

Podľa zistení Lococo a kol. nástroje umelej inteligencie zásadným spôsobom ovplyvňujú manažment nemalobunkového karcinómu pľúc (NSCLC) augmentáciou viacerých aspektov, vrátane určovania štádia ochorenia, hodnotenia prognózy, predikcie liečby a monitorovania terapeutickú odpoveď. Algoritmy dokážu predpovedať odpoveď na jednotlivé terapeutické modalítity – chirurgickú, rádioterapeutickú, chemoterapeutickú aj imunoterapiu (16).

Tieto zistenia podporuje aj práca s nástrojom LUCY (Lung Cancer histology), ktorý sa zameriava na charakterizáciu NSCLC priamo z CT skenov. Do hodnotenia bolo zahrnutých 182 adenokarcinómov a 186 skvamocelulárnych karcinómov pľúc. LUCY dosiahla

hodnotu plochy pod krivkou (AUC) nad 77 % vo všetkých histologických subtypoch NSCLC pri analýze lokalizácie tumoru a gradingu, čo potvrdzuje jej prínos pre predikciu ochorenia. Cucchiara a kol. uvádzajú, že nádory pľúc sa stali paradigmatickým príkladom personalizovanej medicíny v kontexte prepojenia tekutej biopsie a rádiomiky. Rastúci počet publikovaných štúdií naznačuje, že tieto prístupy môžu priniesť účinný spôsob skríningu a včasnej diagnostiky pľúcnych nádorov, ako aj monitorovania zmien v molekulárnom profile tumoru. Implementáciu rádiomiky a tekutej biopsie do klinickej praxe by mohol podporiť systém založený na umelej inteligencii, ktorý by integroval klinické údaje pacientov s molekulárnymi profilmi nádorov a charakteristikami zobrazovacích metód (1, 17).

Záver

Včasná detekcia väčšiny prípadov karcinómu prostaty zostáva výzvou aj napriek neustále narastajúcim poznatkom. V súčasnosti je primárnym spôsobom diagnostiky podozrenia na karcinóm prostaty histopatologické vyšetrenie. Tento proces sa však vo veľkej miere spolieha na biopsiu, ktorá nesie riziko chýbajúcej alebo nesprávnej diagnózy. Takéto chyby v histopatológii majú priamy vplyv na diagnostickú presnosť rádiomických analýz. Zvýšenie presnosti histopatologického vyšetrenia preto môže významne prispieť k zlepšeniu výkonnosti rádiomických modelov. Hoci je potrebný ďalší výskum v oblasti rádiogenomiky, aby sa mohla plnohodnotne uplatniť ako diagnostický nástroj, jej potenciál v poskytovaní personalizovaných údajov o každom nádore je neprehliadnuteľný. Rádiogenomika sa tak môže stať perspektívnou metódou pre lepšiu stratifikáciu rizika karcinómu prostaty (11).

Podakovanie:

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v súvislosti s realizáciou projektu NFP313010Q927 GENOSCAN: Zavedenie inovatívneho testu pre screening a monitoring onkologických pacientov - GenoScan Lbquant.

Literatúra:

1. Věstník MZ ČR 11/2023. 2023.
2. Lo Gullo R., Daimiel I., Morris E.A., Pinker K. Combining molecular and imaging metrics in cancer: radiogenomics. *Insights Imaging*. 2020;11:1; doi: 10.1186/s13244-019-0795-6.
3. Wei C., Szewczyk-Bieda M., Bates A.S., Donnan P.T., Rauchhaus P., Gandy S., et al. Multicenter Randomized Trial Assessing MRI and Image-guided Biopsy for Suspected Prostate Cancer: The MULTIPROS Study. *Radiology*. 2023;308:e221428; doi: 10.1148/radiol.221428.
4. Dos Santos D.N., Horvat N., Dias A.B., Mota M., Veloso Filho G., Schoen K., et al. Prostate Cancer Imaging: What We Already Know and What Is on the Horizon. *Radiographics*. 2022;42:E123-4; doi: 10.1148/rg.210134.
5. Fernandes M.C., Yildirim O., Woo S., Vargas H.A., Hricak H. The Role of MRI in Prostate Cancer, Current and Future Directions. *MAGMA*. 2022;35:503-21; doi: 10.1007/s10334-022-01006-6.
6. Dwivedi D.K., Jagannathan N.R. Emerging MR methods for improved diagnosis of prostate cancer by multiparametric MRI. *Magn Reson Mater Phys*. 2022;35:587-608; doi: 10.1007/s10334-022-01031-5.

7. Chaddad A., Tan G., Liang X., Hassan L., Rathore S., Desrosiers C., et al. Advancements in MRI-Based Radiomics and Artificial Intelligence for Prostate Cancer: A Comprehensive Review and Future Prospects. *Cancers (Basel)*. 2023;15:3839; doi: 10.3390/cancers15153839.
8. Dominguez I., Rios-Ibacache O., Caprile P., Gonzalez J., San Francisco I.F., Besa C. MRI-Based Surrogate Imaging Markers of Aggressiveness in Prostate Cancer: Development of a Machine Learning Model Based on Radiomic Features. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13:2779; doi: 10.3390/diagnostics13172779.
9. Morrison G., Buckley J., Ostrow D., Varghese B., Cen S.Y., Werbin J., et al. Non-Invasive Profiling of Advanced Prostate Cancer via Multi-Parametric Liquid Biopsy and Radiomic Analysis. *Int J Mol Sci*. 2022;23:2571; doi: 10.3390/ijms23052571.
10. Feretzakis G., Juliebø-Jones P., Tsaturyan A., Sener T.E., Verykios V.S., Karapiperis D., et al. Emerging Trends in AI and Radiomics for Bladder, Kidney, and Prostate Cancer: A Critical Review. *Cancers (Basel)*. 2024;16:810; doi: 10.3390/cancers16040810.
11. Banerjee V., Wang S., Drescher M., Russell R., Siddiqui M.M. Radiogenomics influence on the future of prostate cancer risk stratification. *Ther Adv Urol*. 2022;14:17562872221125317; doi: 10.1177/17562872221125317.
12. Ferro M., Cobelli O., Vartolomei M.D., Lucarelli G., Crocetto F., Barone B., et al. Prostate Cancer Radiogenomics—From Imaging to Molecular Characterization. *Int J Mol Sci*. 2021;22:9971; doi: 10.3390/ijms22189971.
13. Mata L.A., Retamero J.A., Gupta R.T., García Figueras R., Luna A. Artificial Intelligence-assisted Prostate Cancer Diagnosis: Radiologic-Pathologic Correlation. *Radiographics*. 2021;41:1676–97; doi: 10.1148/rg.2021210020.
14. Castaldo R., Cavaliere C., Soricelli A., Salvatore M., Pecchia L., Franzese M. Radiomic and Genomic Machine Learning Method Performance for Prostate Cancer Diagnosis: Systematic Literature Review. *J Med Internet Res*. 2021;23:e22394; doi: 10.2196/22394.
15. Chassagnon G., De Margerie-Mellon C., Vakalopoulou M., Marini R., Hoang-Thi T.-N., Revel M.-P., et al. Artificial intelligence in lung cancer: current applications and perspectives. *Jpn J Radiol*. 2023;41:235–44; doi: 10.1007/s11604-022-01359-x.
16. Lococo F., Ghaly G., Chiappetta M., Flamini S., Evangelista J., Bria E., et al. Implementation of Artificial Intelligence in Personalized Prognostic Assessment of Lung Cancer: A Narrative Review. *Cancers (Basel)*. 2024;16:1832; doi: 10.3390/cancers16101832.
17. Cucchiara F., Petrini I., Romei C., Crucitta S., Lucchesi M., Valleggi S., et al. Combining liquid biopsy and radiomics for personalized treatment of lung cancer patients. State of the art and new perspectives. *Pharmacological Research*. 2021;105643; doi: 10.1016/j.phrs.2021.105643.
18. Mytsyk Y., Borzhiyevs'kyi A., Kobilnyk Y., Shulyak A.V., Dutka I., Borzhiyevs'kyi O., et al. Personalized management of prostate cancer: from molecular and imaging markers to radiogenomics. *Pol J Radiol*. 2022;87:e58–62; doi: 10.5114/pjr.2022.113204.

MUDr. Dávid Kocan

Ústav patologickej anatómie, Lekárska fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave
Sasinkova 4, Bratislava
davidkocan93@gmail.com