

# Detekce karcinomu prostaty – porovnání nálezů, které hodnotil zkušený radiolog anebo umělá inteligence s použitím hlubokého učení

*Detection of prostate cancer – comparison of findings evaluated by an experienced radiologist or artificial intelligence using deep learning*

Jiří Ferda<sup>1</sup>, Milan Hora<sup>2</sup>, Ondřej Hes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

<sup>2</sup>Urologická klinika LF UK a FN, Plzeň

<sup>3</sup>Šiklův ústav patologické anatomie LF UK, Plzeň

## Hlavní stanovisko práce

Výsledky hodnocení nálezů magnetické rezonance pomocí umělé inteligence dosahují spolehlivých hodnot, ale ve srovnání se zkušeným radiologem dosud mírně zaostávají.

## Major statement

The results of the evaluation of magnetic resonance imaging findings using artificial intelligence reach reliable values, but they are still slightly lagging behind compared to an experienced radiologist.

## SOUHRN

**Ferda J, Hora M, Hes O. Detekce karcinomu prostaty – porovnání nálezů, které hodnotil zkušený radiolog anebo umělá inteligence s použitím hlubokého učení**

**Cíl:** Zhodnotit zkušenosti s hodnocením magnetické rezonance prostaty pomocí komerčně dostupného nástroje umělé inteligence s hlubokým učením.

**Metodika:** Byla hodnocena skupina 100 vyšetření prostaty, kde byly nálezy ověřeny buď operací, nebo dlouhodobým sledováním. Byly porovnány výsledky původně popsané radiologem v roce 2018, následně v roce 2023 byly výsledky vyhodnoceny nástrojem umělé inteligence Prostate AI (Siemens Healthineers, Erlangen, Německo).

**Výsledky:** Umělá inteligence dosáhla následujících výsledků: senzitivita 0,98, specifická 0,70, negativní prediktivní hodnota 0,88, pozitivní prediktivní hodnota 0,93 a přesnost 0,92.

Naproti tomu výsledky radiologa s 12 lety praxe s hodnocením magnetické rezonance prostaty byly: senzitivita 0,99, specifická 0,95, negativní prediktivní hodnota 0,95, pozitivní prediktivní hodnota 0,99 a přesnost 0,98.

**Závěr:** Nástroj umělé inteligence dosahuje spolehlivých výsledků, ale ve srovnání se zkušeným radiologem její výsledky zaostaly.

**Klíčová slova:** karcinom prostaty, magnetická rezonance, umělá inteligence, deep learning.

## SUMMARY

**Ferda J, Hora M, Hes O. Detection of prostate cancer – comparison of findings evaluated by an experienced radiologist or artificial intelligence using deep learning**

**Aim:** To evaluate the experience with the evaluation of ProStay magnetic resonance imaging using a commercially available deep-learning AI tool.

**Methods:** A group of 100 prostate examinations was evaluated, where the findings were verified either by surgery or by long-term follow-up, the results originally described by a radiologist in 2018 were compared, then in 2023 the results were evaluated by the artificial intelligence tool Prostate AI (Siemens Healthineers, Erlangen, Germany).

**Results:** The AI achieved the following results: sensitivity 0.98, specificity 0.70, negative predictive value 0.88, positive predictive value 0.93, and accuracy 0.92. In contrast, the results of a radiologist with 12 years of experience in evaluating prostate magnetic resonance imaging were: sensitivity 0.99, specificity 0.95, negative predictive value 0.95, positive predictive value 0.99, and accuracy 0.98.

**Conclusion:** The AI tool achieves reliable results, but compared to an experienced radiologist, its results have lagged behind.

**Key words:** prostatic carcinoma, magnetic resonance imaging, artificial intelligence, deep learning.

Přijato: 31. 12. 2023

### Korespondenční adresa:

prof. MUDr. Jiří Ferda, Ph.D.  
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN  
Alej Svobody 80, 304 60 Plzeň  
e-mail: ferda@fnplzen.cz

Podpořeno projektem MZ ČR Konceptní rozvoj výzkumné instituce 00669806 – FN Plzeň a projektem COOPERATIO, basic sciences Univerzity Karlovy.

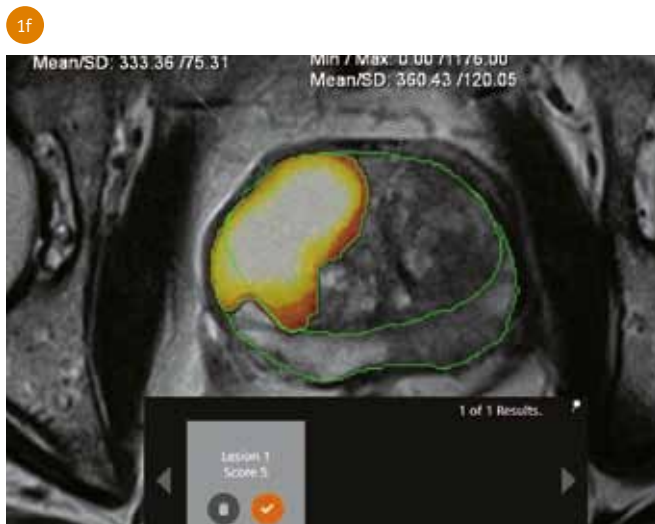
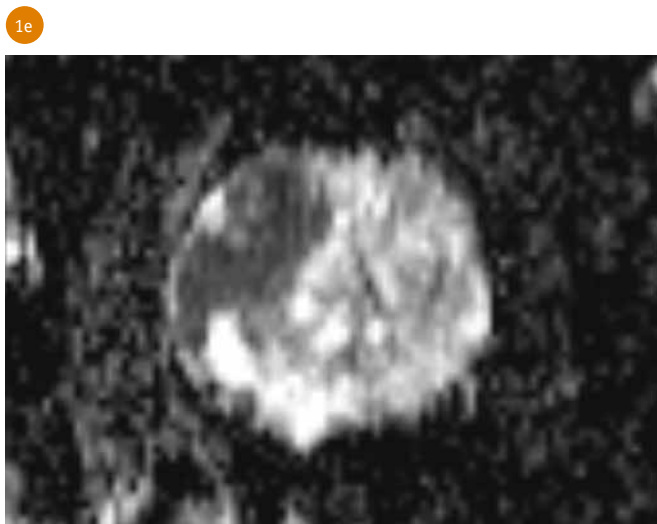
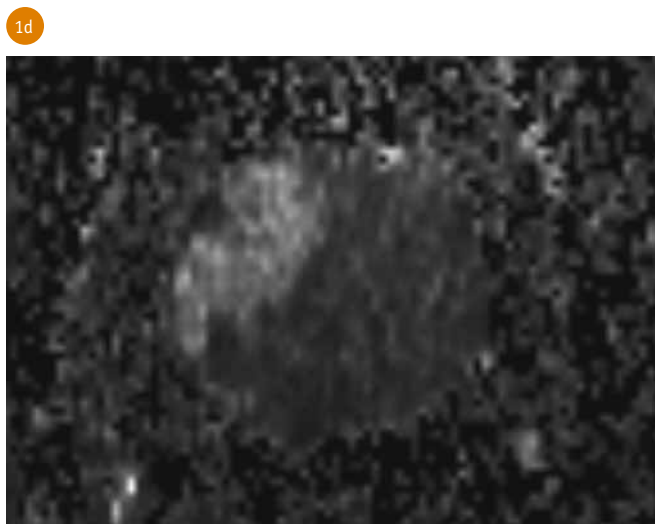
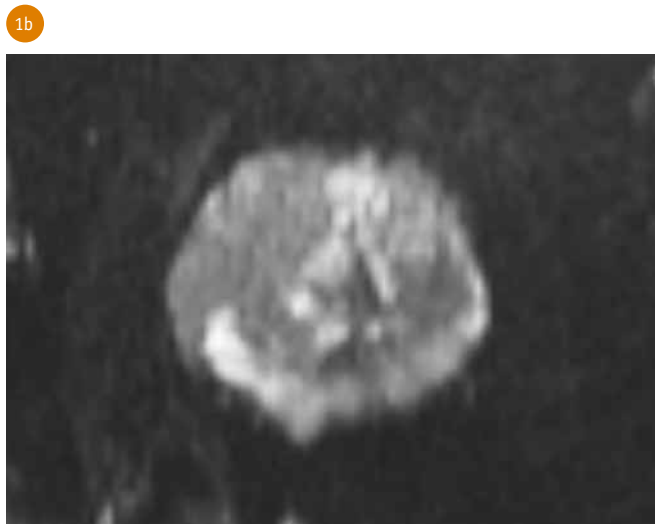
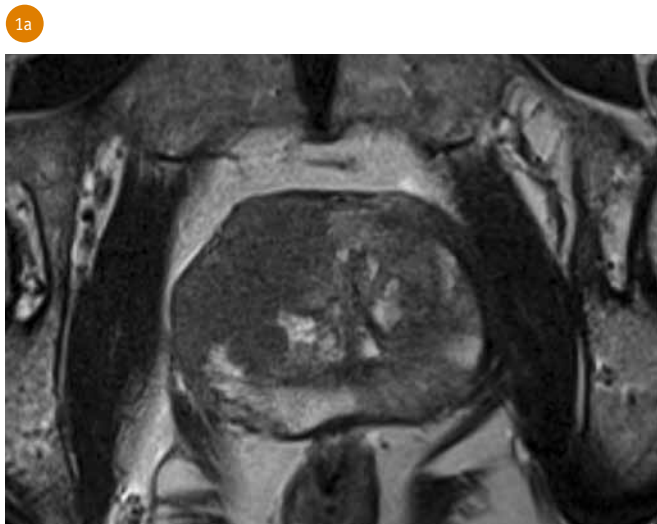
Konflikt zájmů: žádný.

## ÚVOD

Karcinom prostaty (PCa) je u mužů maligní nádor s druhou nejvyšší incidencí a pátou nejvyšší mortalitou na světě

(1). Multiparametrická magnetická rezonance (mpMR), která zahrnuje T2 vážené zobrazování (T2WI), difuzně vážené zobrazování (DWI), mapy apparentního difuzního koeficientu (ADC)

odvozené z DWI a dynamické kontrastní (DCE) zobrazování, hraje důležitou roli ve stratifikaci rizika PCa zejména při snižování zbytečných biopsií a nadměrné léčby u pacientů dosud neléčených



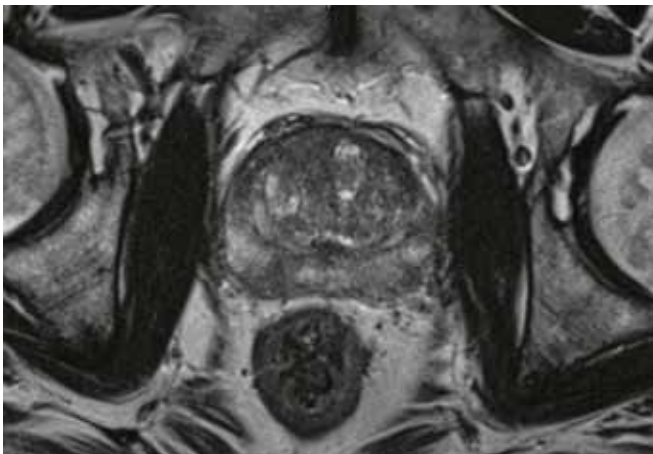
1 Rozsáhlý karcinom s extrakapsulární extenzí – DL-CAD TP, radiolog TP  
Extensive carcinoma with extracapsular extension – DL-CAD TP, radiologist TP

biopsií (2, 3). Pro hodnocení nálezů byl vyvinut Prostate Imaging and Reporting and Data System (PI-RADS), který poskytuje standard pro hodnocení pravděpodobnosti přítomnosti PCa v zobrazení magnetickou rezonancí (MR). Podezřelá ložiska jsou hodnocena a interpretována na základě skórovacího systému (2, 4, 5). PI-RADS je však pouze semi- kvantitativní metoda hodnocení, která vyžaduje vysokou úroveň odborných znalostí od hodnotícího radiologa, ale také vede k neshodě mezi hodnotícími radiology v multicentrickém klinickém hodnocení mpMR. Ještě důležitější je, že podle PI-RADS verze 2.1 (2, 5) je detekce klinicky významného karcinomu prostaty (csPCa) u lézí s PI-RADS 3 nejednoznačná. Konečně je postupováno tak, že léze hodnocené PI-RADS 3–5 vyžadují biopsii pro patologické potvrzení csPCa. Tento postup pak často

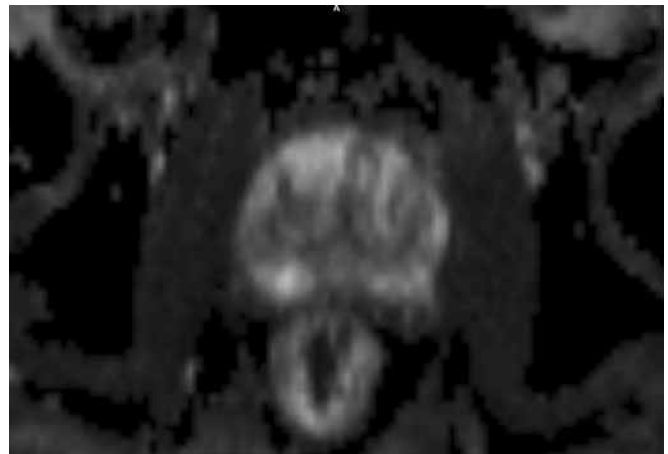
vede ke zbytečným biopsiím a nesprávně nadhodnocené diagnóze (overdiagnosis) nebo léčbě (overtreatment). Několik recentních studií prokázalo, že biparametrická MR (bpMR) – T2 (rychlé spinové echo, TSE), DWI a ADC, má při detekci csPCa diagnostický přínos podobný mpMR, je-li použito hodnocení PI-RADS (6–8). Vzhledem k tomu, že absence DCE v bpMR může předejít některým problémům s prováděním DCE, jako jsou nežádoucí účinky kontrastní látky, časová náročnost, a ne na posledním místě také náklady na kontrastní látku a strojový čas (6, 9, 10), je bpMR alternativní možností vyhledávání csPCa (7). Při hodnocení nálezů při použití zjednodušeného protokolu může být využito také metod umělé inteligence (artificial intelligence – AI). Hluboké učení (deep learning – DL), jeden z pokročilých postupů umělé inteligence (AI), může

posuzovat a také charakterizovat velké množství podprahových obrazových znaků, které nejsou dostupné běžným vizuálním hodnocením. Takové hodnocení pomocí DL-AI může mít velký význam pro redukcii počtu případů neshody mezi hodnotiteli, nebo/a zlepšit jejich diagnostickou přesnost (11). V současnosti DL zkoušena v diagnostice různých druhů nádorových procesů, jako je karcinom plic, karcinom prsu a další onemocnění. DL modely založené na bpMR snímcích bez DCE obrazů pro diagnostiku csPCa jsou v současnosti již dostupné i komerčně, opírají se o recentně vedené studie s analýzou výsledků ve srovnání s biopsiemi (12). Principem těchto metod je především vyhledávání podezřelých ložisek a jejich klasifikace, metody odpovídají postupům, které se nazývají obecně DL-CAD (deep-learnig computer aided detection).

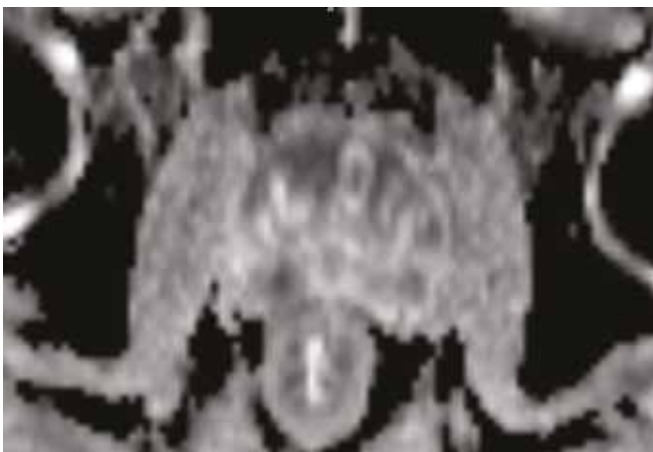
2a



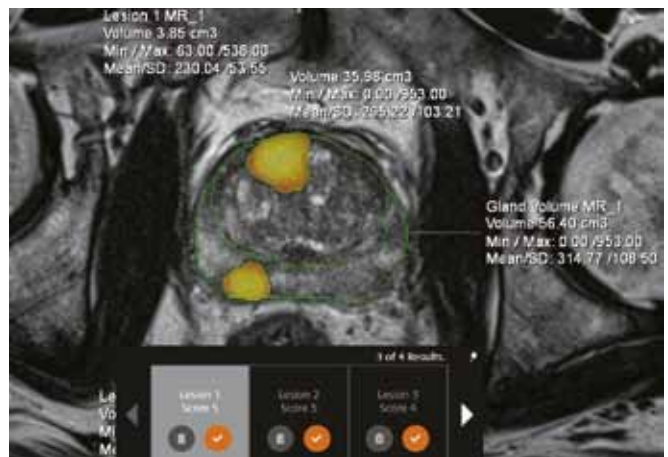
2b



2c

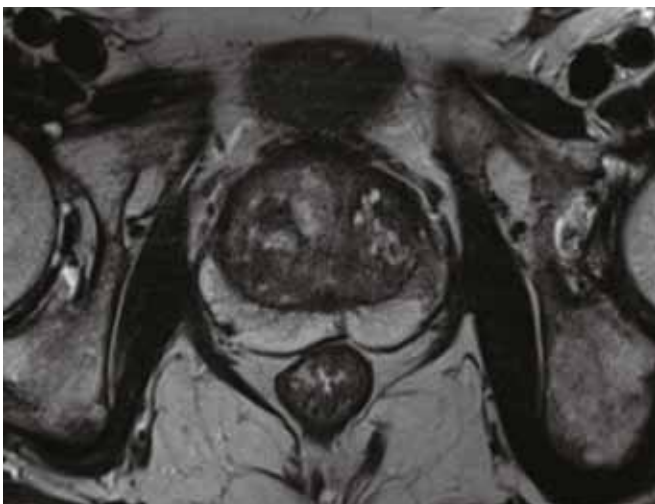


2d

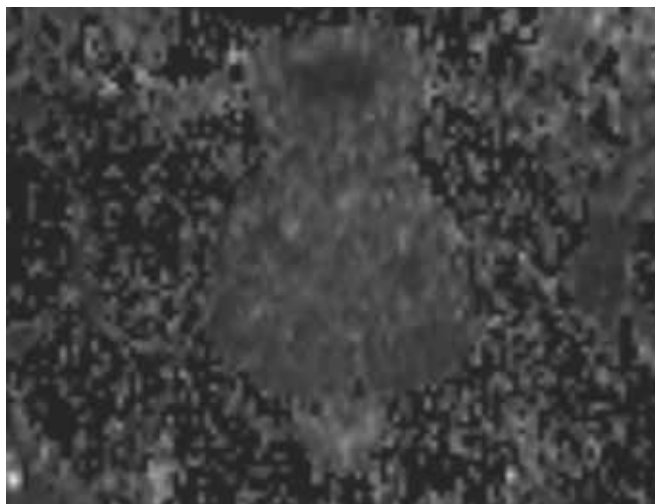


2 Multifokální karcinom – DL-CAD TP, radiolog TP  
Multifocal carcinoma – DL-CAD TP, radiologist TP

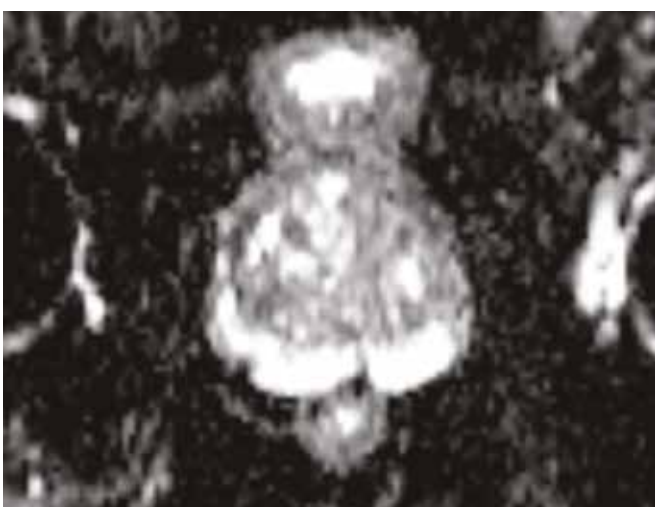
3a



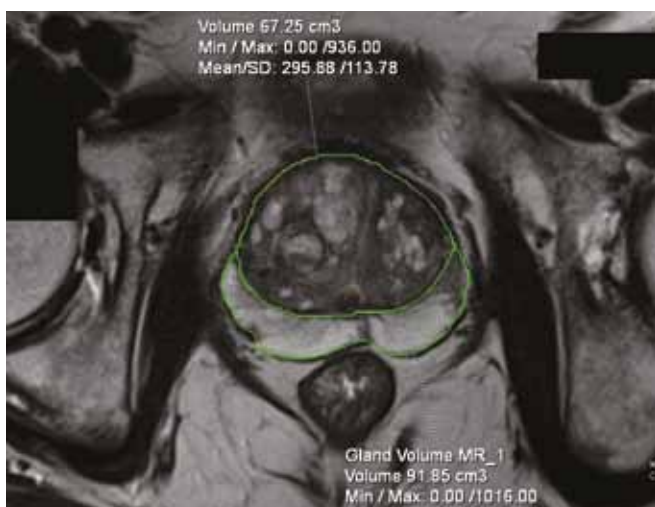
3b



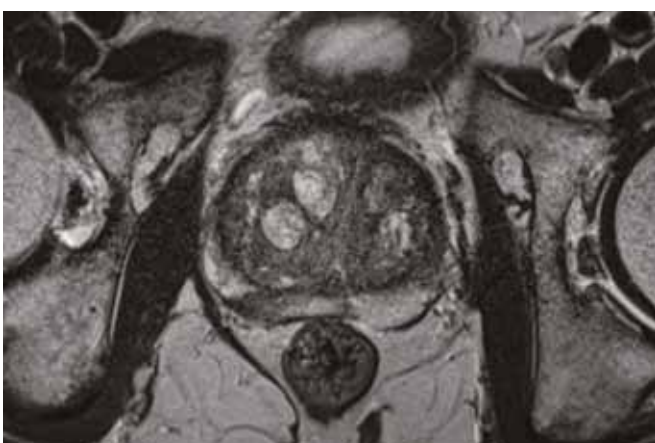
3c



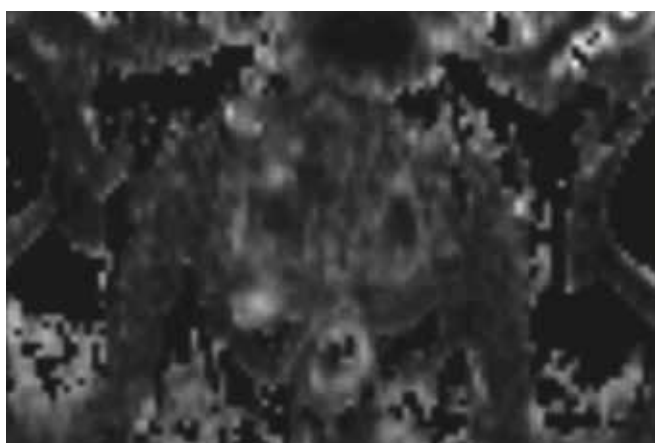
3d



3e



3f



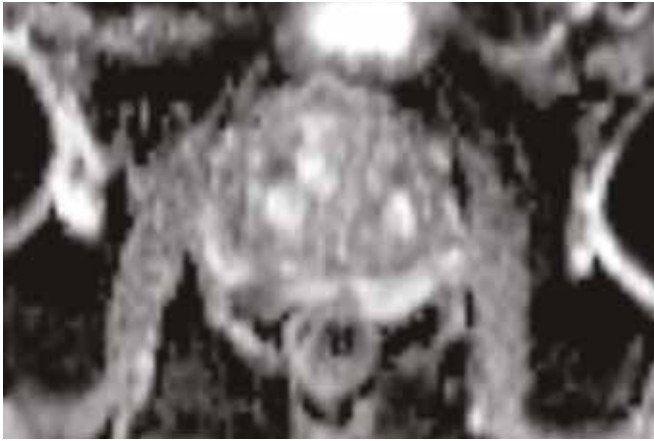
## METODIKA

Studie organizována jako unicentrická retrospektivní, souhlas pacientů nebyl požadován z důvodu retrospektivního designu studie. Do studie byli zahrnuti pacienti s klinickým podezřením na PCa v důsledku zvýšených hladin sérového

prostatického specifického antigenu (PSA) ( $\text{PSA} \geq 4 \text{ ng/ml}$ ) a/nebo podezřelého digitálního rektálního vyšetření (DRE), u nichž bylo indikováno MR vyšetření z důvodu podezření z karcinomu prostaty. Vyšetření byla provedena období od ledna 2018 do srpna 2018, pacienti podstoupili multiparametrické

zobrazení prostaty (mpMR) prostaty. Zahrnuto bylo celkem 100 pacientů, u nichž byla následně provedena prostatektomie, biopsie (nebo jiné ověření ložiska v prostatě) nebo byli sledováni po dobu 5 let a bylo známo, zda se u nich vyskytl signifikantní karcinom prostaty.

3g



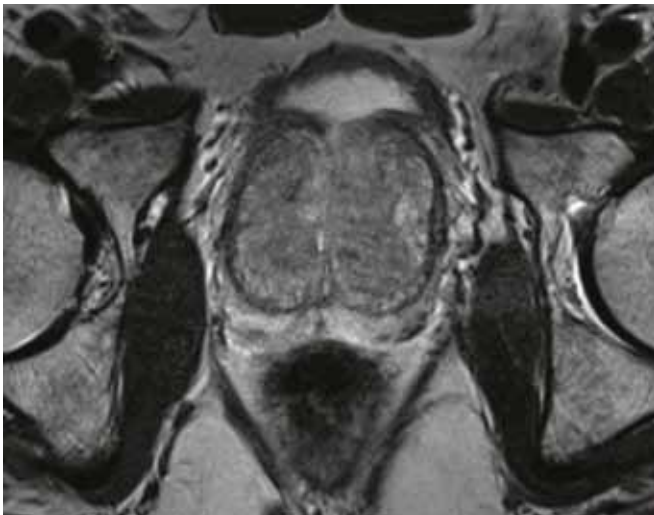
3h



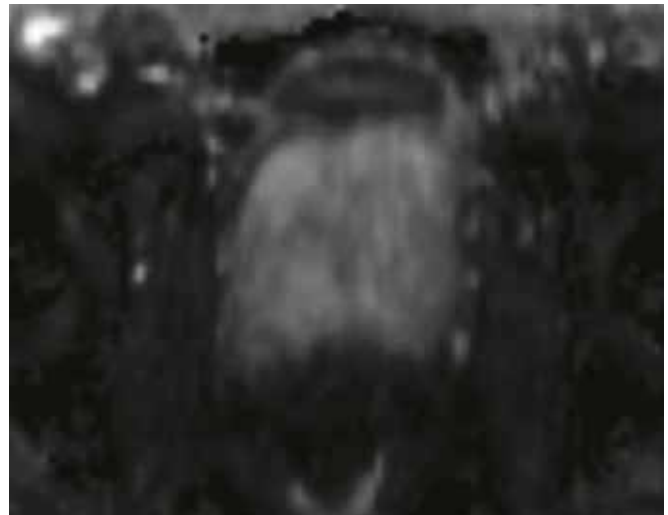
**3** Malý karcinom – DL-CAD FN, radiolog TP, nebyl průvodně zastížen ani bioticky, po 5 letech tumor narostl, opětovně popsán radiologem a při kontrole nalezen i DL-CAD

Small carcinoma – DL-CAD FN, radiologist TP, was not detected even by biopsy, after five years the tumour grew again described by a radiologist, and during the follow-up DL-CAD was also found

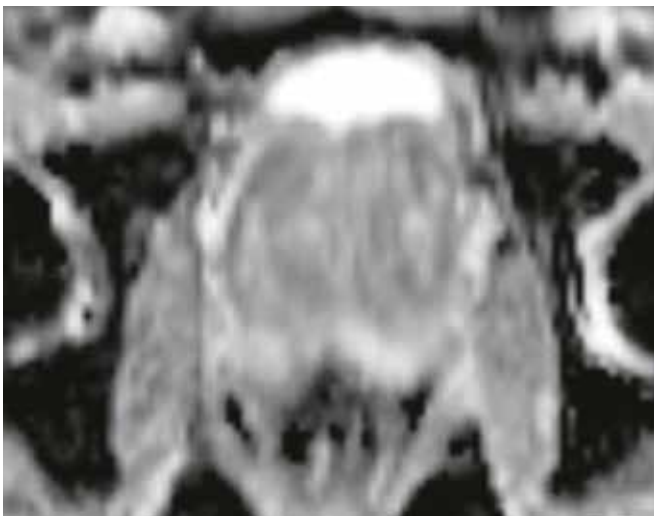
4a



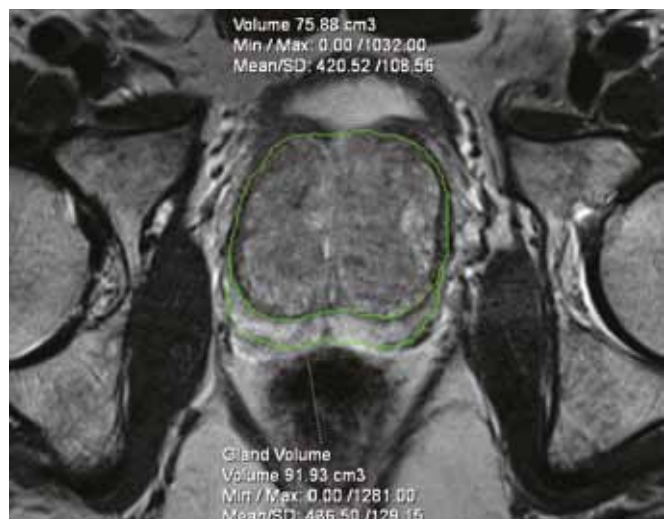
4b



4c

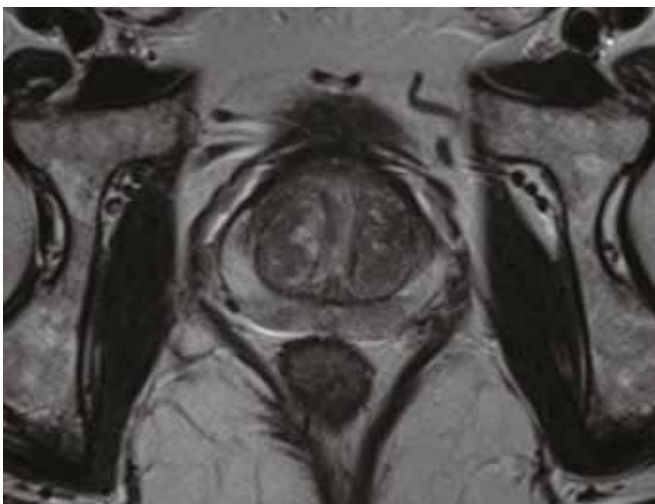


4d

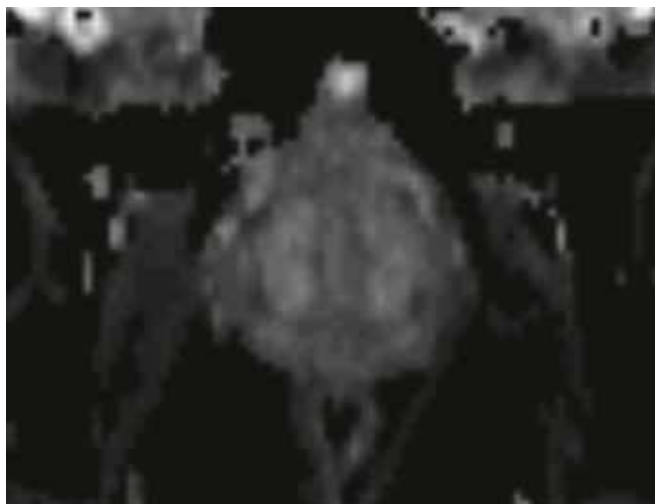


**4** Benigní hyperplazie prostaty – DL-CAD TN, radiolog TN  
Benign prostatic hyperplasia – DL-CAD TN, radiologist TN

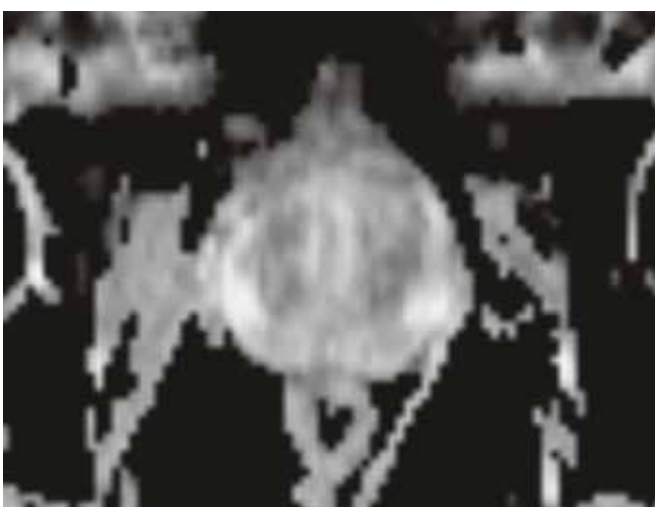
5a



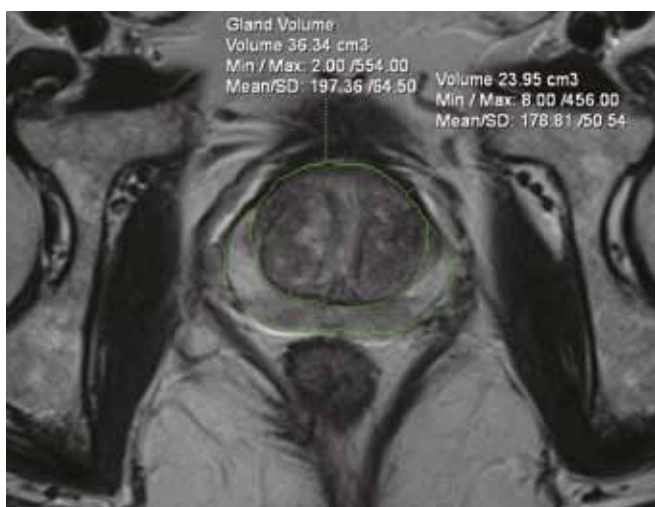
5b



5c



5d



5 Karcinom, Gleasonovo skóre 3+3 – follow-up 5 let, provedena radikální prostatektomie, patologem označeno velmi malé ložisko, zřejmě tedy klinicky nevýznamný nález – DL-CAD FN, radiolog FN

Carcinoma Gleason score 3+3 – follow-up 5 years, performed by radical prostatectomy, indicated a very small lesion, probably a clinically insignificant finding – DL-CAD FN, radiologist FN

## MR ZOBRAZOVÁNÍ

Všechny mpMR byly pořízeny podle doporučení ESUR (4) a byly provedeny na 3T MR přístroji (MAGNETOM Skyra, Siemens Healthcare) s použitím 32kanálové páteřní cívky integrované do MR stolu a 18kanálové cívky tělové; nebyla použita endorektální cívka a nebyla provedena žádná preparace střeva před vyšetřením nebo podání spasmolytika. Pro hodnocení nálezů byly použity T2 vážené sekvence rychlého spinového echa v axiální a sagitální rovině a dále difúzní zobrazení s hodnotami  $b = 50$ ,  $b = 400$  a  $b = 800$  a s vypočtením mapy high- $b$  a mapy aparentního difúzního koeficientu.

## Hodnocení nálezů

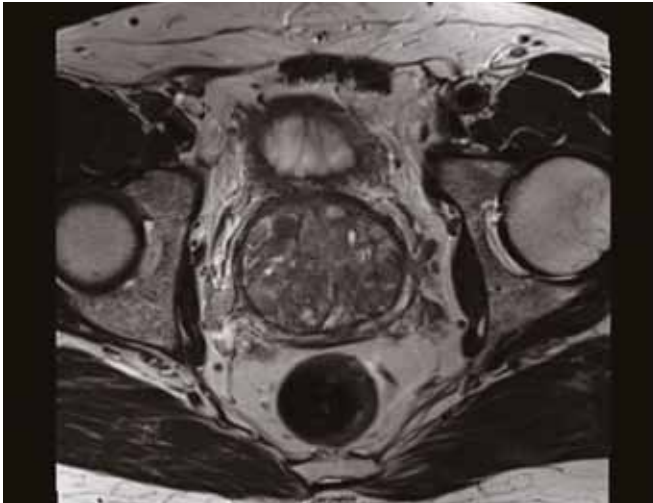
Na této studii se jako hodnotitelé podíleli radiolog se 12 lety praxe hodnocení prostaty a vyhodnocením více než 10 000 vyšetření prostaty a jako druhý hodnotící komerčně dostupný, automatický software umělé inteligence (artificial intelligence – AI) využívající metodu hlubokého učení (Prostate AI, Siemens Healthineers, Erlangen Německo) pro počítačem asistovanou detekci ložisek (deep-learning computer aided detection – DL-CAD). Jedná se o zdravotnický prostředek, dle FDA certifikace třídy II, CE certifikace IIb. Třída dle současných pravidel nedovoluje prostředek použít jako samostatné druhé čtení nálezů, nezávisle na rozhodovací pravomoci radiologa, který nález

hodnotí, ale lze jej použít jako podpůrný prostředek pro stanovení diagnózy. Hodnocení ložisek probíhalo pomocí schématu a pravidel PI-RADS v2. Nálezy radiologa z aktuálního popisu v roce 2018 byly hodnoceny s nálezy, které provedl software. Nálezy byly porovnány s histologickými nálezy nebo s nálezy klinického sledování.

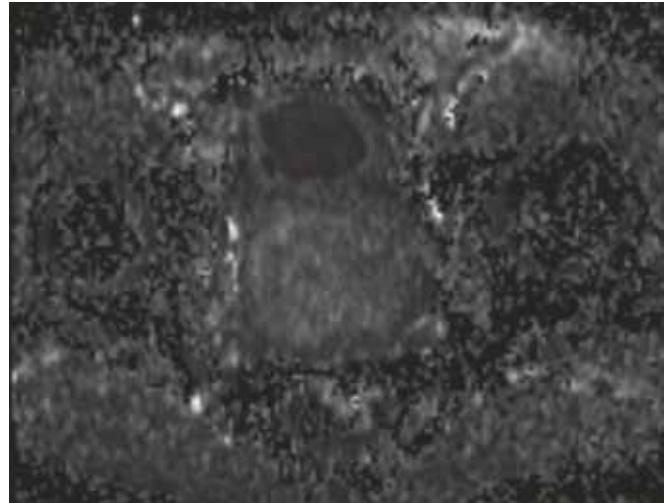
## Metoda deep-learning computer aided detection – DL-CAD

DL-CAD je plně automatický a skládá se ze dvou hlavních částí: předzpracování a druhého CAD modulu, který lze dále rozdělit na detekci založenou na DL (CAD), krok zpětné redukce falešně pozitivního hodnocení a klasifikační

6a



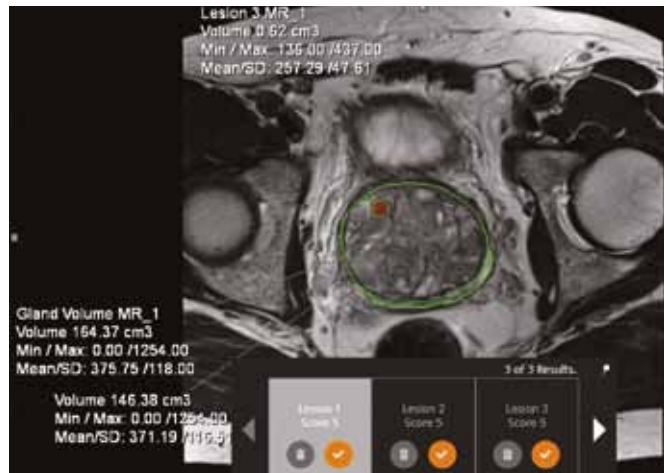
6b



6c



6d



## 6 Benigní hyperplazie prostaty – DL-CAD FP, radiolog TN Benign prostatic hyperplasia – DL-CAD FP, TN radiologist

system CADx (Computer-Aided Diagnosis Classification). Krok předběžného zpracování snímků MR používá vstupní axiální TSE T2 obrazy a měřené difúzně vážené obrazy (DWI). Z DWI s hodnotami  $b = 50$  a  $800 \text{ s/mm}^2$  se vypočítá mapa aparentního difúzního koeficientu (ADC) a vypočtené (syntetické) obrazy hodnot  $b$  při  $b = 0$  a  $b = 2000 \text{ s/mm}^2$ . Na základě konvoluční neuronové sítě je prostata segmentována z TSE T2 a vypočtena  $b = 0$  DWI. Na TSE T2 je segmentována tranzitorní zóna prostaty. Na základě těchto segmentací je provedena rigidní koregistrace a převzorkování TSE T2 a DWI. Segmentační maska, společně registrovaný a přeformátovaný axiální TSE T2, ADC mapa a vypočtené  $b = 2000$  DWI jsou pak použity v CA, který obsahuje 2D architekturu a vytváří pixelovou mapu podezřelých ložisek z daných vstupů. Kolem každého podezřelého ložiska

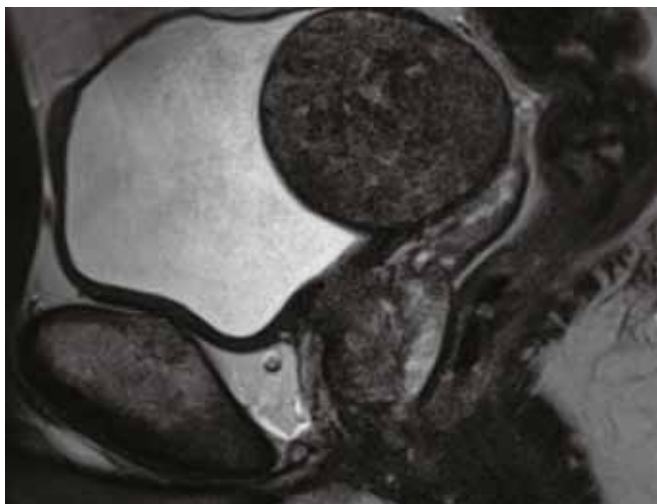
ve třech zobrazeních je vytvořena okrajová demarkační zóna a ta je předána do sítě redukující falešně pozitivní nálezy. Cílem je potlačit počet falešně pozitivních detekcí. Podezřelé léze, které nakonec zbydou, jsou vyhodnoceny klasifikační sítí lézí pro odhad kategorie PI-RADS (12). DL-CAD byl vyškolen 2170 biparametrickými (bp) – MR vyšetřeními prostaty ze sedmi institucí. Tréninková data se skládala z 944 sad obrazů bez karcinomu prostaty a 1226 případů s alespoň jednou suspektní lézí z karcinomu prostaty (PI-RADS  $\geq 3$ ). Referenčním standardem pro soubor výukových dat systému však byla interpretace radiologů, která nezahrnovala histopatologické výsledky. DL-CAD detekuje podezřelé léze a charakterizuje je podle PI-RADS kategorií 3 až 5. Obrisy až pěti podezřelých lézí jsou prezentovány a vizualizovány jako heatmapy na odpovídajícím axiálním TSE T2. Kromě toho

jsou průměr, lokalizace, odhadovaný PI-RADS  $\geq 3$  a úroveň podezření (level of suspicion LoS, hodnota udávaná v procentech) označeny v rozhraní prohlížeče obrázků. Současně je uvedeno skóre podezřelosti v procentech, to označuje jistotu algoritmu, s jakou je přítomna významná léze.

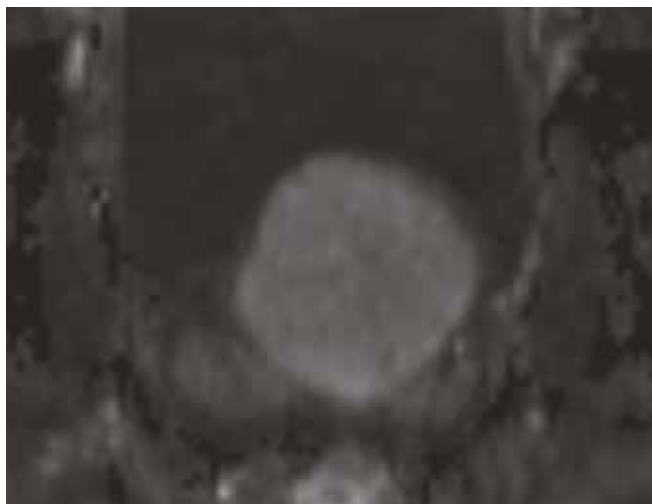
### Standard pro porovnání

Histopatologické výsledky byly hodnoceny Patologem s 25 lety zkušeností s hodnocením Gleasonova skóre, členem hodnotícího panelu ISUP. Grade group Mezinárodní společnosti pro urologickou patologii (ISUP GG)  $\geq 1$  byl považován za PCa nízkého stupně a ISUP GG  $\geq 2$  byl považován za klinicky významný PCa. U každého pacienta byla léze s nejvyšším skóre definována jako indexová léze a použita pro hodnocení.

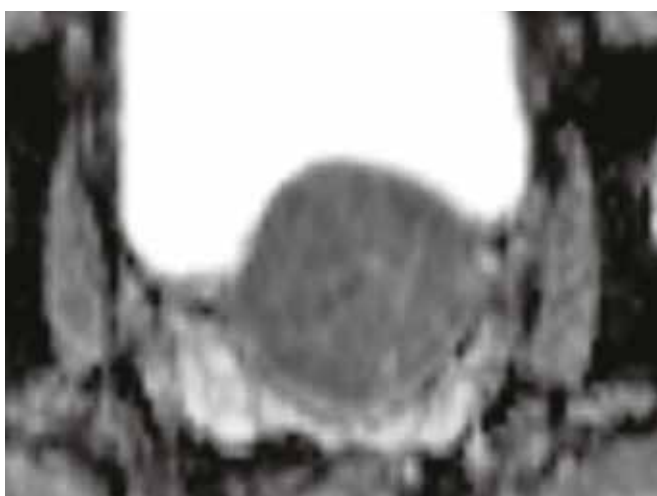
7a



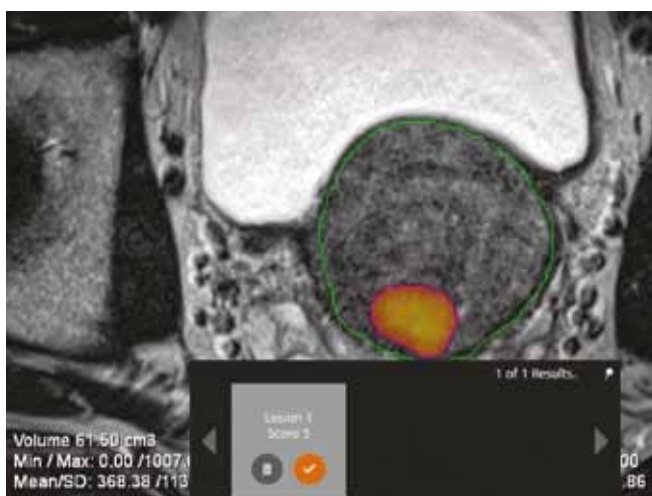
7b



7c



7d



**7** Leiomyom močového měchýře – DL-CAD FP, radiolog TN  
Bladder leiomyoma – DL-CAD FP, radiologist TN

## VÝSLEDKY

Výsledky jsou zhodnoceny v tabulce 1, která porovnává výsledky AI (DL-CAD) při retrospektivní analýze a výsledky dosažené radiologem v prospektivním hodnocení. Vypočítány byly hodnoty senzitivity, specifity, negativní prediktivní hodnoty a pozitivní prediktivní hodnoty, také přesnosti u obou hodnotitelů. Při hodnocení pomocí programu využívajícího umělou inteligenci by nedošlo ke změně ani jednoho nálezu.

## DISKUSE

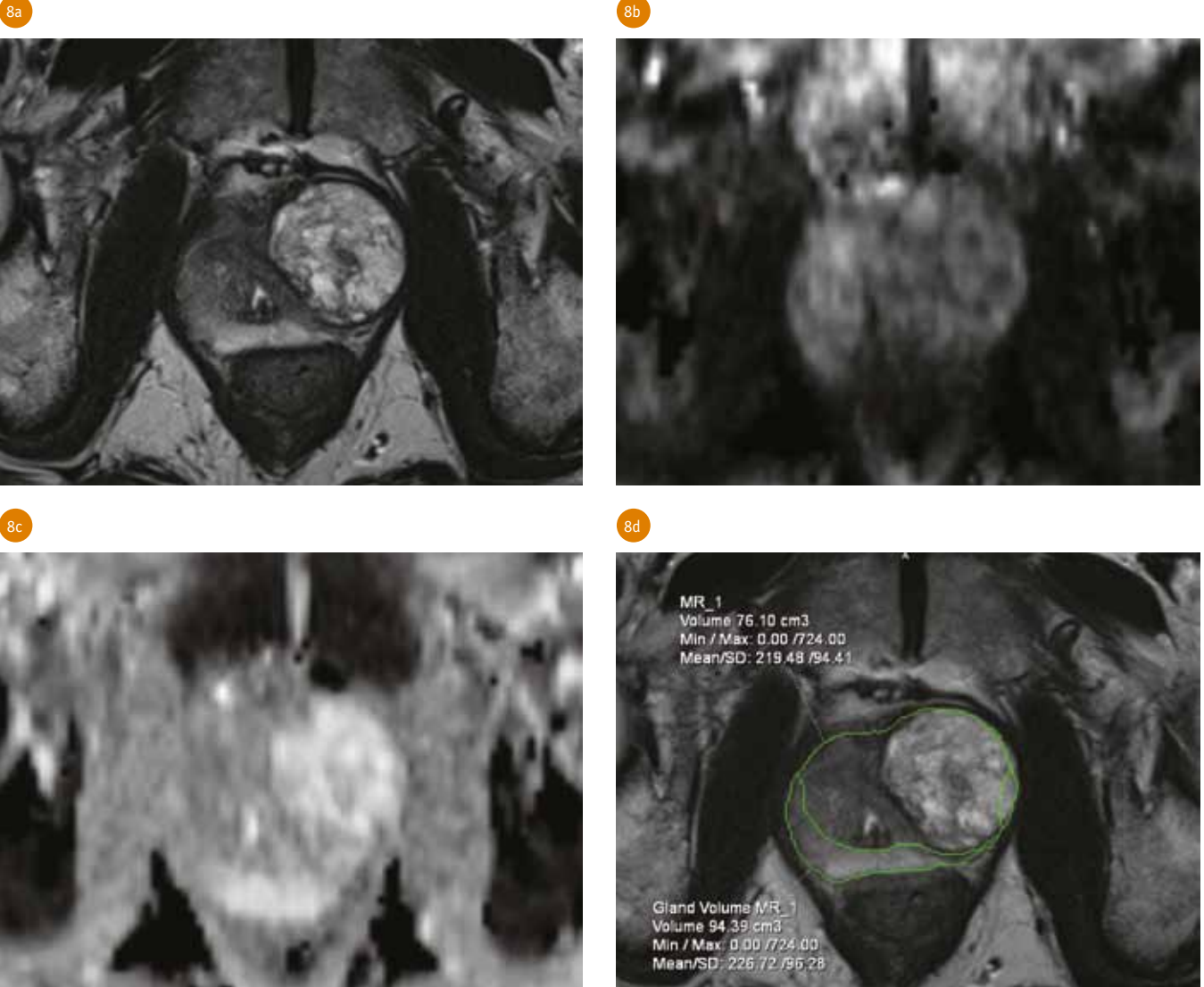
Souhrnně vícečetné studie prokázaly přínos paralelního hodnocení s asistencí DL-CAD pro méně zkušené radiology. Současně nebyl prokázán žádný významný přínos asistence DL-CAD

při hodnocení pro zkušené radiology. Specifita a NPV se zvyšují sice s pomocí DL-CAD u zkušených i méně zkušených radiologů, ale statisticky významný přínos byl prokázán pouze u méně zkušených radiologů. Senzitivita se zvyšuje jen nepatrně, zlepšení nedosahuje statistické významnosti. Přínosem ale může být u nezkušených i zkušených radiologů DL-CAD asistence v korelaci mezi kategoriemi PI-RADS a také histologickým grade karcinomu prostaty. Významné je také zkrácení doby hodnocení nálezu. Největším přínosem v hodnocení nálezu s ohledem na časnou detekci karcinomu prostaty je jednoznačně zlepšení negativní prediktivní hodnoty. Několik CAD studií hodnotilo korelaci mezi klasifikací MR (kategorie PI-RADS) a agresivitou nádoru hodnocené pomocí Gleasonova skóre (GS). Ukazuje se, že přidání DL-CAD

asistence signifikantně zvyšuje korelaci mezi kategoriemi PI-RADS a GS, což je v souladu s výsledky (2, 3, 10–12). Doba hodnocení se při použití DL-CAD zkracuje ve srovnání s časem potřebným bez DL-CAD, zkrácení doby hodnocení je zejména opět u mladších radiologů. Pro zkušeného radiologa je DL-CAD de facto metodou druhého čtení, a tam se domníváme, že je také budoucí místo umělé inteligence prováděného hodnocení magnetické rezonance prostaty.

Naše studie vykazuje několik významných omezení pro zobecnění. Za prvé, všechny snímky mpMR pocházely z jediné instituce, bylo použito hodnocení jediného radiologa, s vysokou mírou zkušenosti s hodnocením MR prostaty. Bylo by třeba dalšího výzkumu ve větších multicentrických prospektivních prostředích, multicentrické studie, zlepšit zobecnitelnost výsledků. Výhodou





**8** Stromální tumor nejistého maligního potenciálu – DL-CAD TN, radiolog TN  
 Stromal tumor of uncertain malignant potential – DL-CAD TN, radiologist TN

**Tab. 1. Porovnání výsledků DL-CAD AI a radiologa**

**Table 1. Comparison of the evaluations of DL-CAD and radiologist**

		DL-CAD AI				Radiolog			
		TP	FN	TN	FP	TP	FN	TN	FP
84	celkem operace prostaty								
78	prokázán karcinom	78				78			
1	prokázán stromální nádor nejistého maligního potenciálu			1				1	
1	prokázán leiomyom močového měchýře				1			1	
4	neprokázán karcinom, benigní hyperplazie			4				4	
16	celkem sledování								
14	sledování s benigním průběhem			9	5			13	1
2	sledování s detekcí karcinomu		2			1	1		
<b>100</b>	<b>celkem</b>	<b>78</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>79</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>1</b>

		DL-CAD AI	Radiolog
SENZ	senzitivita	0,98	0,99
SPEC	specifická	0,70	0,95
NPV	negativní prediktivní hodnota	0,88	0,95
PPV	pozitivní prediktivní hodnota	0,93	0,99
ACC	přesnost	0,92	0,98

studie oproti ostatním je, že byly použity skutečné prospektivně získané výsledky, s prospektivním hodnocením. Hodnocení DL-CAD není zatíženo subjektivitou retrospektivního přístupu k datům. Ve srovnatelných studiích vzhledem k retrospektivnímu designu studie některé výsledky označené hodnotícími radiology byly ovlivněny mírou jistoty, že v souboru bude ve vyšší míře pozitivní nález. Hodnotitel studie tento subjektivní náhled neměl, protože byly použity výsledky hodnocení uložené v systému v době, kdy byla hodnocení prováděna se shodnou pravděpodobností výsledku pozitivního, jako v běžné sérii vyšetření. Subjektivní zkreslení je největší potíží

skutečně retrospektivních studií, vědomí, že byly vybrány vzorky pozitivní, mohlo vést k tomu, že některé skutečně pozitivní výsledky lézí byly „falešně“ klasifikovány jako falešně pozitivní, což vedlo k podcenění skutečné specifické ve studiích (5–7). Problém studie je však s použitím multiparametrického hodnocení radiologem, neboť v roce 2018 byl standardně používán protokol, který zahrnoval i spektroskopii i dynamické postkontrastní zobrazení. Toto omezení by budoucí studie s hodnocením při programu časné detekce měly vyhodnotit, zda by stejné výsledky radiologa mohly být shodné při použití biparametrického MR.

## ZÁVĚR

Závěrem jsme ukázali, že přidání DL-CAD významně zlepšuje detekční výkon méně zkušených radiologů při hodnocení mpMR; s pomocí DL-CAD dosahovali výkonů podobných výkonům odborných radiologů. V současné době vysoká úroveň odborných znalostí potřebných pro interpretaci MR prostaty omezuje její dostupnost a potenciální přínosy, ale poptávka po ní neustále roste. V důsledku toho je toto hledání užitečné pro pochopení role DL-CAD při překonávání těchto omezení. ●

## LITERATURA

1. Sun Z, Wang K, Wu C, Chen Y, Kong Z, She L, Song B, Luo N, Wu P, Wang X, Zhang X, Wang X. Using an artificial intelligence model to detect and localize visible clinically significant prostate cancer in prostate magnetic resonance imaging: a multicenter external validation study. *Quant Imaging Med Surg.* 2024; 14(1): 43–60.
2. Hegazi MAAA, Taverna G, Grizzi F. Is Artificial Intelligence the Key to Revolutionizing Benign Prostatic Hyperplasia Diagnosis and Management? *Arch Esp Urol.* 2023; 76(9): 643–656.
3. van den Berg I, Soeterik TFW, van der Hoeven EJRC, Claassen B, Brink WM, Baas DJH, Sedelaar JPM, Heine L, Tol J, van der Voort van Zyp JRN, van den Berg CAT, van den Bergh RCN, van Basten JA, van Melick HHE. The Development and External Validation of Artificial Intelligence-Driven MRI-Based Models to Improve Prediction of Lesion-Specific Extraprostatic Extension in Patients with Prostate Cancer. *Cancers (Basel)* 2023; 15(22): 5452.
4. Kaneko M, Magoulianitis V, Ramacciotti LS, Raman A, Paralkar D, Chen A, Chu TN, Yang Y, Xue J, Yang J, Liu J, Jadvar DS, Gill K, Cacciamani GE, Nikias CL, Duddalwar V, Jay Kuo CC, Gill IS, Abreu AL. The Novel Green Learning Artificial Intelligence for Prostate Cancer Imaging: A Balanced Alternative to Deep Learning and Radiomics. *Urol Clin North Am.* 2024; 51(1): 1–13.
5. Belue MJ, Law YM, Marko J, Turkbey E, Malayeri A, Yilmaz EC, Lin Y, Johnson L, Merriman KM, Lay NS, Wood BJ, Pinto PA, Choyke PL, Harmon SA, Turkbey B. Deep Learning-Based Interpretable AI for Prostate T2W MRI Quality Evaluation. *Acad Radiol.* 2023; S1076–6332(23)00509–3. doi: 10.1016/j.acra.2023.09.030. [Epub ahead of print]. PMID: 37858505.
6. Lin Y, Belue MJ, Yilmaz EC, Harmon SA, An J, Law YM, Hazen L, Garcia C, Merriman KM, Phelps TE, Lay NS, Toubaji A, Merino MJ, Wood BJ, Gurrin S, Choyke PL, Pinto PA, Turkbey B. Deep Learning-Based T2-weighted MR Image Quality Assessment and Its Impact on Prostate Cancer Detection Rates. *J Magn Reson Imaging* 2023. doi: 10.1002/jmri.29031. [Epub ahead of print]. PMID: 37811666.
7. Bischoff LM, Peeters JM, Weinhold L, Krausewitz P, Ellinger J, Katemann C, Isaak A, Weber OM, Kuetting D, Attenberger U, Pieper CC, Sprinkart AM, Luetkens JA. Deep Learning Super-Resolution Reconstruction for Fast and Motion-Robust T2-weighted Prostate MRI. *Radiology* 2023; 308(3): e230427. doi: 10.1148/radiol.230427. PMID: 37750774.
8. Thomas M, Murali S, Simpson BSS, Freeman A, Kirkham A, Kelly D, Whitaker HC, Zhao Y, Emberton M, Norris JM. Use of artificial intelligence in the detection of primary prostate cancer in multiparametric MRI with its clinical outcomes: a protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 2023; 13(8): e074009. doi: 10.1136/bmjopen-2023-074009. PMID: 37607794; PMCID: PMC10445392.
9. Netzer N, Eith C, Bethge O, Hielscher T, Schwab C, Stenzinger A, Gnirs R, Schlemmer HP, Maier-Hein KH, Schimmöller L, Bonekamp D. Application of a validated prostate MRI deep learning system to independent same-vendor multi-institutional data: demonstration of transferability. *Eur Radiol.* 2023; 33(11): 7463–7476. doi: 10.1007/s00330-023-09882-9. [Epub 2023 Jul 28]. PMID: 37507610. PMCID: PMC10598076.
10. Kim H, Kang SW, Kim JH, Nagar H, Sabuncu M, Margolis DJA, Kim CK. The role of AI in prostate MRI quality and interpretation: Opportunities and challenges. *Eur J Radiol.* 2023; 165: 110887. doi: 10.1016/j.ejrad.2023.110887. [Epub 2023 May 23]. PMID: 37245342.
11. Hamm CA, Baumgärtner GL, Biessmann F, Beetz NL, Hartenstein A, Savic LJ, Froböse K, Dräger F, Schallenberg S, Rudolph M, Baur ADJ, Hamm B, Haas M, Hofbauer S, Cash H, Penzkofer T. Interactive Explainable Deep Learning Model Informs Prostate Cancer Diagnosis at MRI. *Radiology* 2023; 307(4): e222276. doi: 10.1148/radiol.222276. [Epub 2023 Apr 11]. PMID: 37039688.
12. Oerther B, Engel H, Nedelcu A, Schlett CL, Grimm R, von Busch H, Sigle A, Gratzke C, Bamberg F, Benndorf M. Prediction of upgrade to clinically significant prostate cancer in patients under active surveillance: Performance of a fully automated AI-algorithm for lesion detection and classification. *Prostate* 2023; 83(9): 871–878. doi: 10.1002/pros.24528. [Epub 2023 Apr 4]. PMID: 36959777.