

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Bc. Iva Bublíková

**Aparentní difúzní koeficient u vyšetření prostaty magnetickou  
rezonancí**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Oto Slowik

Olomouc 2024

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc, 2. května 2024

---

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych vyjádřila své hluboké poděkování Mgr. Otovi Slowikovi, za jeho odborné vedení, cenné rady a podporu během celé doby mé práce na této diplomové práci. Jeho odborné znalosti a neustálá motivace byly klíčové pro dosažení cílů mé práce a umožnily mi prohloubit mé pochopení studované problematiky.

## ANOTACE

**Typ závěrečné práce:** diplomová práce

**Téma práce:** Aparentní difúzní koeficient u vyšetření prostaty magnetickou rezonancí

**Název práce:** Aparentní difúzní koeficient u vyšetření prostaty magnetickou rezonancí

**Název práce v AJ:** Apparent diffusion coefficient in magnetic resonance imaging  
of the prostate

**Datum zadání:**

**Datum odevzdání:**

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

**Autor práce:** Bc. Bublíková Iva

**Vedoucí práce:** Mgr. Oto Slowik

**Oponent práce:** Prof. MUDr. Miroslav Heřman, Ph.D.

**Abstrakt v ČJ:** Diplomová práce zkoumá vyšetření prostaty pomocí magnetické rezonance (MR), s důrazem na využití sekvence difúzního zobrazení a výpočet aparentního difúzního koeficientu (ADC). Práce obsahuje přehled magnetické rezonance a jejích technik, popis protokolu vyšetření prostaty a problematiku onemocnění této žlázy. Výzkumná část se zaměřuje na data pacientů podstupujících MR vyšetření prostaty, kde jsou získávány ADC hodnoty a pacienti s karcinomem jsou kategorizováni podle PIRADS skóre. Výsledkem je analýza vlivu ADC hodnot na identifikaci rizikových stupňů rakoviny prostaty podle PI-RADS skóre a zkoumání korelace mezi ADC hodnotami a hladinami specifického prostatického antigenu (PSA).

**Abstrakt v AJ:** The thesis explores prostate examination using magnetic resonance imaging, focusing on the utilization of diffusion-weighted imaging sequence and the calculation of the apparent diffusion coefficient (ADC). It provides an overview of magnetic resonance and its techniques, describes the protocol for prostate examination, and discusses the issues related to prostate diseases. The research section concentrates on data from patients undergoing MRI prostate examination, where ADC values are obtained, and patients with carcinoma are categorized according to the PIRADS score. The outcome comprises an analysis of the impact of ADC values on identifying the risk levels of prostate cancer based on the PI-RADS score and investigates the correlation between ADC values and prostatics specifics antigen (PSA) levels.

**Klíčová slova v ČJ:** magnetická rezonance, karcinom prostaty, ADC hodnoty, PIRADS skóre, PSA hodnoty

**Klíčová slova v AJ:** magnetic resonance, prostate cancer, ADC values, PIRADS score, PSA level

**Rozsah:** 75 stran / 2 přílohy

# OBSAH

Úvod.....	7
1. Teoretická část .....	10
1.1 Magnetická rezonance .....	10
1.1.1 Základní principy zobrazování .....	10
1.1.3 Cívky.....	13
1.1.5 Gradienty .....	14
1.2 Aparentní difúzní koeficient.....	16
1.2.1 Difúzně vážený obraz .....	16
1.2.2 Mapy aparentního difúzního koeficientu.....	17
1.3 Prostata .....	18
1.3.1 Anatomie.....	18
1.3.2 Funkce.....	19
1.3.3 Onemocnění prostaty .....	20
1.3.4 Gleasonovo skóre.....	21
1.3.5 Prostatický specifický antigen .....	22
1.4 Vyšetření prostaty.....	23
1.4.1 Indikace.....	23
1.4.2 Kontraindikace.....	24
1.4.3 Příprava pacienta a průběh vyšetření .....	25
1.4.4 Program časného záchytu nádorů prostaty .....	26
1.4.5 PI-RADS.....	27
2. Výzkumná část.....	30
2.1 Cíl výzkumu.....	30
2.1.1 Cíle výzkumu.....	30
2.1.2 Hypotézy.....	30
2.2 Metodika výzkumu .....	31
2.3 Výsledky výzkumu .....	34
2.3.1 Popisná statistika souboru.....	34

2.3.2	Analýza ADC a skupin PI-RADS skóre.....	41
2.3.3	Analýza PSA a PI-RADS skóre.....	45
2.3.4	Analýza vlivu PSA a ADC .....	49
2.3.5	Analýza vlivu ADC hodnot na hodnoty PSA a PI-RADS skupin. ....	50
2.4	Diskuze.....	54
	Závěr .....	64
	Referenční seznam .....	65
	Seznam zkratk a značek .....	70
	Seznam obrázků a tabulek.....	71
	Seznam příloh .....	73
	Přílohy.....	74

# ÚVOD

Magnetická rezonance (MR) je neinvazivní radiodiagnostická metoda, která se v klinické medicíně hojně využívá k zobrazení měkkých tkání v těle. Tato metoda využívá kombinaci silného magnetického pole, rádiových vln a pokročilých počítačových algoritmů k vytvoření obrazu s vysokým rozlišením. Od svého zavedení na počátcích 70. let minulého století způsobila MR revoluci v oblasti diagnostického zobrazování a poskytla lékařům účinný nástroj k diagnostice a sledování široké škály onemocnění.

Rakovina prostaty je druhým nejčastějším nádorovým onemocněním u mužů v České republice. (ÚZIS ČR, 2024) Vyšetření prostaty MR umožňuje nejen přesně lokalizovat nádor, ale také poskytuje důležité informace pro stanovení správné léčby. Aparentní difúzní koeficient (ADC) získaný z difúzně vážených obrazů se ukázal být důležitým parametrem pro hodnocení biologických charakteristik nádorů prostaty.

Tato diplomová práce se zaměřuje na využití ADC při diagnostice a hodnocení rakoviny prostaty. Práce si klade za cíl analyzovat vliv hodnot ADC na identifikaci a klasifikaci nádorů prostaty, zejména ve vztahu k systému PI-RADS a vztahu k hodnotám prostatického specifického antigenu (PSA). První část práce se věnuje teoretickým základům MR zobrazování, včetně principů a jejího využití pro vyšetření prostaty. Dále jsou prozkoumána klíčová témata týkající se anatomie prostaty, patologie, a také význam multiparametrického vyšetření dle PI-RADS verze 2 a PSA ve vztahu k diagnóze a prognóze rakoviny prostaty. Ve výzkumné části jsou poté prezentovány výsledky analýzy vztahu mezi hodnotami ADC, PI-RADS skóre a hodnotami PSA, s cílem posílit diagnostickou přesnost a přispět k lepšímu pochopení dynamiky rakoviny prostaty.

Práce nabízí ucelený pohled na přínos ADC v kontextu MR vyšetření prostaty, přispívá k diskusi diagnostických postupů a poukazuje na potřebu porozumění biomarkerů pro správnou diagnostiku a léčbu karcinomu prostaty.

Vstupní literatura, která byla použita před provedením rešerše:

EL-BAZ, Ayman, Gyan PAREEK a Jasjit S. SURI. Prostate Cancer Imaging: An Engineering and Clinical Perspective. USA: CRC Press, 2018. ISBN 978-1498786232

AKATA, Deniz a Nikolaos PAPANIKOLAOU. Diffusion-Weighted Imaging of the Genitourinary System. Switzerland: Springer, 2018. ISBN 978-3-31969-575-4

ROSENKRANTZ, Andrew. MRI of the Prostate: A Practical Approach. USA: Thieme Medical Publishers, 2017. ISBN 978-1626232693

LEITE, Claudia a Mauricio CASTILLO. Diffusion Weighted and Diffusion Tensor Imaging. USA: Thieme Medical Publishers, 2016. ISBN 978-1-62623-021-7

VILANOVA, Joan C. a Violeta CATALÁ. Atlas of Multiparametric Prostate MRI: With PI-RADS Approach and Anatomic-MRI-Pathological Correlation. Switzerland: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-61785-5

### **Rešeršní strategie**

Při tvorbě této práce byla provedena standartní rešeršní strategie ke zjištění aktuálních a validních poznatků ke zpracování. Rešeršní strategii, která vedla k dohledání odborných článků k tématu práce, zachycuje následující schéma. Kromě odborných článků byly ke zpracování práce použity i odborné publikace z Ústřední knihovny ČVUT a online knihovny bookport.

### **ALGORITMUS REŠERŠNÍ ČINNOSTI**



#### **VYHLEDÁVACÍ KRITÉRIA:**

**Klíčová slova v ČJ:** magnetická rezonance, rakovina prostaty, difúzně vážený obraz, ADC hodnoty, PIRADS skóre, PSA hodnoty

**Klíčová slova v AJ:** magnetic resonance imaging (MRI), prostate cancer, DWI, ADC values, PIRADS score, PSA values

**Jazyk:** anglicky, česky

**Období:** 2013 a novější

**Další kritéria:** plný text online, recenzované články



#### **DATABÁZE:**

ScienceDirect, Národní lékařská knihovna (NLK) - Medvik, PubMed, EBSCO Discovery Service



Nalezeno 181 článků





**Vyřazující kritéria:**  
Duplicita, nevhodnost tématu, nekorespondence k cílům práce



**SUMARIZACE VYUŽITÝCH DATABÁZÍ A DOHLEDANÝCH DOKUMENTŮ:**  
Science Direct – 8 článků  
NLK – 4 články  
Medvik – 2 články  
PubMed – 14 článků  
EBSCO Discovery Service – 1 článek  
Knižní publikace – 4 knihy



Pro tvorbu teoretických východisek bylo použito 29 dohledaných článků a 4 monografie a e-monografie.

Pro tvorbu teoretických východisek diplomové práce bylo použito celkem 33 dohledaných dokumentů, z toho 27 dohledaných zahraničních článků a 2 českých článků, 2 zahraniční a 2 české monografie a e-monografie.

# 1. TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Magnetická rezonance

Magnetická rezonance (MR) představuje jednu z nejvýznamnějších tomografických zobrazovacích metod. Tato metoda umožňuje nahlédnout do lidského těla v řezech tkání ve třech definovaných rovinách: transversální (axiální), frontální (koronární) a sagitální. Je to nejmladší neinvazivní radiodiagnostická metoda, mezi jejíž základní charakteristiky se považuje absence ionizujícího záření, s nímž pracuje mnoho přístrojů používaných k diagnostice pacienta ve zdravotnictví (např. konvenční rentgenka, výpočetní tomografie (CT), pozitron-emisní tomografie (PET) nebo jedno-fotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT).

### 1.1.1 Základní principy zobrazování

Základním prvkem zobrazování MR jsou různé reakce atomů na působení magnetického pole. Molekuly mají své magnetické pole, které lze detekovat a využít k tvorbě obrazu MR. Molekuly se sudým počtem nukleonů nelze použít k zobrazování MR, protože je jejich vlastní magnetické pole nedostatečné a nelze jej měřit. Naopak jádra s lichým počtem nukleonů, jsou vhodná. Tyto molekuly mají jeden nepárový nukleon, který vykazuje měřitelný magnetický moment. Hojně zastoupené molekuly s lichým počtem jader v lidském těle jsou tvořeny prvky například  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$  nebo  $^{23}\text{Na}$ . Molekuly vody, které tvoří základní stavební blok našeho těla, jsou složeny z jednoho atomu kyslíku a dvou atomů vodíku. Vzhledem k tomu, že přibližně 60 % lidského těla tvoří voda, hraje vodík klíčovou roli v procesu magnetické rezonance (MR), což z něj činí nejdůležitější prvek pro zobrazování v rámci této metody. (McRobbie et al., 2017, s. 2-5) (Westbrook, 2011, s. 17-22)

Stejně jak lze každou částici na světě definovat pomocí její atomové hmotnosti či molekulového čísla, lze částice rozlišovat pomocí jejich vlastního vnitřního spinového momentu hybnosti (spin). Tento spinový moment hybnosti vytvářejí elektricky nabitá jádra při rotaci kolem své osy. V částici můžeme nalézt celkem tři pohyby: elektrony rotující kolem vlastní osy, elektrony obíhající jádro a nukleony rotující kolem své osy. Takovou soustavu představuje všechno, co je tvořeno atomy – tedy i lidské tělo. Částice jako taková dále vykonává i pohyb zvaný pohyb precese. Precesní pohyb lze představit jako pohyb podél pláště kužele. Precesní pohyby jednotlivých atomů v soustavě jsou asynchronní. Částice sama o sobě nevykonává pohyb precese, ale vyvolává magnetický moment a vytváří lokální magnetické

pole se severním a jižním pólem. Ve světě kvantové mechaniky se jádro atomu chová podobně jako miniaturní tyčový magnet s magnetickými póly umístěnými podél osy jeho rotace. Pokud je jádro vystaveno vnějšímu silnému magnetickému poli ( $B_0$ ), jádro se se svými siločarami vyrovná buď rovnoběžně s vnějším polem, či kolmo k němu. Tato orientace vytváří dva možné energetické stavy: nízkoenergetický stav, kde jsou jaderné spiny uspořádané paralelně s polem (spin-up), a vysokoenergetický stav, kde jsou spiny uspořádané proti směru pole (spin-down). Například při magnetické síle 1,5 Tesla, odpovídající síle klinického MR skeneru, převyšuje počet jader v nízkoenergetickém stavu počet jader ve vysokoenergetickém stavu poměrem 10 000 009:10 000 000. Rozdílný počet v paralelních ku antiparalelních uspořádání nastane i u přístrojů s jinými silami magnetického pole. Právě díky těmto redundantně uspořádaným jádrům, vykazujícím rozdílný magnetický moment, je získána informace a podklad k vytvoření MR snímků. Pro představu, přirozená magnetická síla pole Země je  $B = 0,05$  mT, tedy skoro 30 000krát menší, než jakou sílu mají klinické MR přístroje. (Grover, 2015, s. 246) (McRobbie et al., 2017, s. 13)

Když je lidské tělo umístěné na vyšetřovacím stole uvnitř MR přístroje, nachází se ve stavu, kde je jeho celkový moment hybnosti nulový. V tomto okamžiku se na tělo aplikuje silné magnetické pole označené jako  $B_0$ , spolu s radiofrekvenčními (RF) pulzy, které jsou orientovány kolmo na toto pole. Tento proces indukuje u atomů energii, která se projevuje jako změny napětí, zaznamenané na měřicích přístrojích. Tento jev, známý jako rezonance, umožňuje energii oscilovat mezi atomovými jádry. Rychlost, s jakou se atomová jádra začnou otáčet, je závislá na síle magnetického pole a musí odpovídat specifické frekvenci, známé jako Larmorova frekvence. Larmorova frekvence je přímo úměrná gyromagnetickému poměru  $\gamma$  charakteristickému pro každý prvek (pro vodík je  $\gamma = 42,58$  MHz/T) a velikosti magnetickému poli  $B$ . Při použití MR o síle 1,5 T bude Larmorova frekvence odpovídat 63,87 MHz. Při aplikaci správných RF pulzů dojde k synchronizaci pohybů atomů v soustavě. Pulzy se zpravidla aplikují v krátkých impulzech, z nichž každý trvá přibližně mikrosekundy. Absorpce energie jádrem způsobí jeho přechod z vyšší energie na nižší, a naopak během relaxace. Po vstupu správné frekvence dojde ke synchronizaci pohybů atomů a k vychýlení jejich siločar magnetického pole soustavy o maximální úhel  $90^\circ$ . Absorbovaná energie a její následné vyzaření jádry způsobí změnu napětí, kterou lze v praxi detekovat vhodnou cívkou. V cívce je následně signál zesílen a zobrazen jako „*free-induction decay*“ (FID, v překladu: rozpad volné indukce). Při absenci následných RF pulzů se systém vrátí do původního energetického stavu díky relaxačním procesům. Relaxace je proces, kdy se jádra vracejí k opětovnému sladění s  $B_0$

magnetickým polem. Kvantová teorie (objevená Maxem Planckem v roce 1900) popisuje vlastní elektromagnetické záření v podobě diskretních kvant energie zvaných kvanta. Při aplikaci kvantové teorie na magnetickou rezonanci mají jádra vodíku energii dvou diskretních kvant označovaných jako nízká a vysoká. Energie potřebná k přechodu mezi energetickými hladinami je rozdíl energií mezi dvěma jadernými spinovými stavy. To je závislé na síle magnetického pole  $B_0$ , jemuž jsou jádra vystavena. V praxi se aplikuje mnoho RF pulzů k získání více signálu a zlepšení poměru signál-šum (SNR). Výsledný signál je průměrem signálů v časové oblasti, jež lze matematickým procesem (Fourierova transformace) zpracovat a převést na obraz nebo na frekvenční spektrum poskytující biochemické informace o tkáni. (Grover, 2015, s. 247-248) (McRobbie et al., 2017, s. 16-17) (Westbrook, 2011, s. 23)

### **Relaxace**

Během relaxace se jádra vrací do původního energetického stavu a uvolňují absorbovanou energii z RF pulzů. Současně, ale nezávisle na sobě, ztrácí magnetický moment atomu v důsledku fázového posunu koherencí. Výsledkem relaxace je obnovení magnetického momentu v podélné rovině a odeznívání magnetického momentu v příčné rovině. Časy relaxace rozeznáváme dvojího typu: T1 relaxační čas (kdy dochází k obnovení podélné magnetizace a odpovídá 63 % původní pozice) a T2 relaxační čas (kdy dochází k rozpadu příčné magnetizace a odpovídá 37 % původní hodnoty). (Westbrook, 2011, s. 32)

Počet dostupných sekvencí představovaných současnými MR přístroji je početný a různorodý. Lze je rozdělit dle dominantního vzhledu tkáni na tři základní obrazy. Za základní a nejběžnější sekvence se považují: T1 vážené obrazy, T2 vážené obrazy a protondensitní obrazy. (Ferda a kol., 2015, s. 22)

### **T1 vážený obraz**

T1 vážené obrazy odrážejí T1 relaxační časy atomových jader, která se vracejí do svého původního energetického stavu po excitaci radiofrekvenčními (RF) pulzy. Tento proces, známý jako podélná relaxace, se projevuje obnovou podélné magnetizace jader, která byla dříve vychýlena o  $90^\circ$ . Molekuly tuku mají vlastní frekvenci přibližně shodnou s Larmorovou frekvencí, proto doba relaxace v tukové tkáni je například kratší oproti zavodněné tkáni, která má malé a rychle pohybující se molekuly, či svalové tkáni, jejíž proteinové molekuly jsou velké a pomalé. T1 relaxační čas je definován dvěma hodnotami: TR („*time to repetition*“) a TE („*time to echo*“). TR představuje dobu, po kterou jsou opakovaně aplikovány RF pulzy na shodný řez. Hodnoty TR jsou zpravidla pro T1 vážené obrazy v rozmezí 300-2000 ms.

TE představuje dobu, která uběhne mezi aplikací RF pulzu a přijetím signálu cívkou. Typické hodnoty při této sekvenci se pohybují v rozmezí 10-15 ms. Proto se ve výsledném T1 váženém obraze zobrazuje tuková tkáň světle (je tzv. hypersignální) a naopak kapaliny/mozkomíšni mok se zobrazují tmavě (tzv. hyposignální). (Ferda a kol., 2015, s. 22) (Malíková, 2022, s. 30)

### **T2 vážený obraz**

T2 vážené obrazy odrážejí T2 relaxační časy atomových jader, dobu rozpadu příčné magnetizace, a proto bývá označován jako čas příčné relaxace. Na tento proces dále působí vliv vlastního magnetického pole okolních protonů, které na sebe vzájemně stále působí. Proto tento proces měříme v rámci jednotlivých voxelů. Hodnoty TR a TE jsou rozdílné oproti T1 váženým obrazům. TR má vyšší hodnoty vyskytující se v rozmezí 2000-6000 ms. Také čas TE je vyšší a vyskytuje se v rozmezí 100-150 ms. Výsledný obraz T2 váženého času bude naopak s hypersignálními kapalinami/mozkomíšním mokem a hyposignální tukovou tkání. (Ferda a kol., 2015, s. 22) (Malíková, 2022, s. 30)

Je důležité zmínit, že relaxační časy T1 a T2 vždy probíhají zároveň, ale v jeden okamžik lze vždy měřit pouze jeden z nich. (Ferda a kol., 2015, s. 22)

### **Protodensitní obraz**

Protodensitní (PD) snímky závisí na koncentraci vodíkových protonů v různých tkáních, což je zobrazováno různými odstíny šedi. Pokud se v dané tkáni nachází mnoho atomů vodíku, získáváme z tkáně větší signál a ten se zobrazí ve světlejším odstínu. Naopak bude-li ve tkáni nedostatek protonů vodíku, získáme z tkáně méně signálu a na obraze se projeví tmavěji. PD je charakterizován dlouhým TR v rozmezí 2000-5000 ms a krátkým TE v rozmezí 10-20 ms. Relaxační časy T1 a T2 se zde neprojevují. (Ferda a kol., 2015, s. 22) (Malíková, 2022, s. 30)

## **1.1.3 Cívky**

Vysílací a přijímací cívky představují klíčovou součást hardwaru magnetické rezonance, která může být konfigurována podle specifik vyšetřované oblasti těla a prováděného měření. V průběhu zobrazování je aplikován pulz B1 okolní vysílací cívkou, která rovnoměrně obklopuje vyšetřovanou oblast. Jak již bylo zmíněno, signály, které jsou generované v magnetickém poli během přenosu energie RF pulzů, jsou následně zachyceny přijímací cívkou jako časově proměnné elektrické napětí. Přijímací cívka je umístěna přímo v oblasti vyšetření jako samostatná cívka nebo integrována s vysílací cívkou v gantry přístroje tak, aby

efektivně pokrývala vyšetřovanou oblast. Tyto cívky jsou propojeny elektronicky a jsou tvarově charakteristické pro každou vyšetřovací oblast. Základní typ cívky, známý jako „body coil“, je pevnou součástí zařízení MR a je ideální pro vyšetřování velkých objemů těla. Dalším typem je „phased array“ (fázovaná cívka), umístěná v samotném vyšetřovacím stole. Fázové cívky umožňují současné přijímání signálů ze série cívek což minimalizuje šum a zvyšuje poměr signálu k šumu oproti individuálnímu zapojení pouze jedné přijímací cívky. Matematické algoritmy jsou využity ke kombinaci dat z jednotlivých cívek a vytvoření optimálního zobrazovacího výstupu. Fázová cívka se nejlépe uplatní při vyšetření kraniospinální osy. Další typy cívek jsou navrženy s ohledem na velikost a tvar cílové oblasti (např. kolenní cívka, hlavová cívka), avšak z bezpečnostních důvodů by neměly přímo přicházet do kontaktu s tělem pacienta, aby se předešlo riziku popálení. Toto riziko může být minimalizováno použitím izolačních materiálů. Izolační vrstvu může představovat oděv bez kovů, jednorázové prostěradlo či jiná fixační pomůcka. (Grover, 2015, s. 247-248)

### 1.1.5 Gradienty

Výše bylo popsáno, jak se získává obraz a intenzita signálu, ale nic z toho nevysvětluje prostorové uspořádání a lokaci signálu z oblasti zájmu. K tomu je zapotřebí aplikování gradientů. Jedná se o dodatečné prostorově lineární změny intenzity statického pole. Gradienty lze použít v libovolném ortogonálním směru pomocí tří sad gradientních cívek  $G_x$ ,  $G_y$  a  $G_z$  v rámci systému MR. Rychlejší nebo pomalejší precese je detekována jako vyšší nebo nižší signál MR. Měření frekvence lze tedy použít k rozlišení signálů MR v různých polohách v prostoru a umožní rekonstrukci obrazu ve třech rozměrech. Právě tyto gradienty a jejich rychlé přepínání je zodpovědné za nepříjemně hlasité vyšetření MR. (Sharp, 2010, s. 151-161)

#### $G_z$

Působí na směr vnějšího magnetického pole  $B_0$  a určuje zvolený řez měření. Gradient se označuje jako gradient výběru řezu ("*slice-selecting gradient*"). Řez při aplikaci gradientů označujeme za tomorovinu. Pokud změníme magnetické pole, změní se Larmorova frekvence, při které částice vykonávají pohyb precese. Když aplikujeme RF puls dané frekvence, rezonují pouze jádra v jedné tomorovině. Šířka dané prstencové roviny  $z$  je úměrná šířce pásma budícího RF impulsu  $\omega$  a nepřímo úměrná velikosti gradientu  $G_z$ . Určeno relačním vzorcem:  $\omega = G_z \cdot z$ . (Sharp, 2010, s. 151-153)

## $G_y$

Když přidáme gradient  $G_y$ , jádra budou vykonávat pohyb precese rychleji při vyšších hodnotách  $G_y$  než při nižších hodnotách  $G_y$ . Gradient se označuje jako gradient fázového kódování („*phase-encoding gradient*“). Pokud tento gradient vypneme, precese jader bude jednotná, ale jejich fáze budou různé, tzv. fázové kódování. Proto částice s vyššími hodnotami  $G_y$  přecházejí na vyšší Larmorovu frekvenci než částice s nižšími hodnotami  $G_y$ . Po vypnutí gradientu  $G_y$  se Larmorova frekvence sjednotí, ale fáze částic jsou stále odlišné. (Sharp, 2010, s. 153-155)

## $G_x$

Aby bylo možné určit polohu kódování ve směru osy  $x$ , je nutné přidat poslední třetí gradientní pole  $G_x$  označované jako gradient frekvenčního kódování („*frequency-encoding gradient*“). Aplikací gradientu  $G_x$  se Larmorova frekvence precesního pohybu jader mění v různých polohách na ose  $x$ . Při aplikaci RF impulsu rezonují pouze atomy umístěné na dané ose  $x$ , tzv. frekvenční kódování. (Sharp, 2010, s. 155-158)

Výslednou polohu ve 3D prostoru ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), ze které signál přichází, získáme aplikací všech gradientních polí  $G_x$ ,  $G_y$  a  $G_z$ . Vrstva  $G_z$  je matice (tzv.  $k$ -prostor), kde  $G_y$  se skládá z řádků stejné fáze a  $G_x$  vytváří sloupce o shodné frekvenci. (Sharp, 2010, s. 151-161)

## 1.2 Aparentní difúzní koeficient

Difúze je samovolný pohyb látky/molekul z oblasti vyšší koncentrace do oblasti s nižší koncentrací. Informace získané difúzní metodou zobrazování zpravidla poskytují dvě formy výsledků difúzně vážené zobrazování (DWI) a vypočítanou mapu aparentního difúzního koeficientu (ADC). (Panda et al, 2020, s. 15)

### 1.2.1 Difúzně vážený obraz

Síla signálu závisí na náhodném Brownově pohybu molekul na mikroskopické úrovni ve tkáni nebo na samodifúzním pohybu molekul vodíku. Pohyb extracelulární vody (vyskytující se mimo buňku) není příliš omezen a má tedy větší míru volnosti ve srovnání s intercelulární vodou (nacházející se v buňce). V buňkách je pohyb omezen vlastními organelami buňky, makromolekulami, a především plazmatickou membránou. Snímky získané metodou MR DWI proto ukazují především hranice jednotlivých buněčných struktur odrážející tkáňové charakteristiky a výrazné jsou především tkáně s vysokým obsahem buněk. Při tělesné teplotě migrují molekuly vodíku rychlostí přibližně 30  $\mu\text{m}$  za 50 s. Pokud je ve tkáni oblast se zvýšeným počtem buněk, pak je v této oblasti mnoho plazmatických membrán, mnoho makromolekul a mnoho organel, které omezují a znesnadňují volný pohyb molekul vodíku. Naproti tomu nekrotická část tkáně bude vykazovat podstatný molekulární pohyb. Nutno dodat, že pohyb není zcela náhodný. Na pohyb mají vliv interakce s hydrofobními lipidy, makromolekulami a vedlejšími proudy v tubulárních kanálech, jako jsou cévy. DWI efektivně detekuje pohyb molekul vody díky difúzním gradientům a poskytuje jak kvalitativní, tak kvantitativní informace o mikroskopickém pohybu vodíkových molekul v daném objemu tkáně. Síla a intenzita těchto gradientů je ovlivněna jejich „b-value“ (b hodnota). Pro získání ADC jsou vyžadovány při skenování sekvencí DWI alespoň dvě tyto hodnoty. Pokud použijeme pouze jednu hodnotu ( $b_0$ ), voda se bude jevit jako zcela světlá, jako je tomu u T2-váženého snímku. Naopak například u cév, kde tekutina urazí poměrně velkou vzdálenost za relativně malé časové období, se signál utlumí. Proto, aby bylo možné posoudit, zda je v daném objemu (ne)omezena difúze pohybujících se molekul, je nutné získat alespoň jednu další hodnotu náběru dat s přidaným gradientem ( $b_{1000}$ ) k datům bez přidaného gradientu ( $b_0$ ). Výsledkem je funkční informace o tkáni na buněčné úrovni a lze diferencovat normální tkáň od patologické. (Le Bihan, 2013, s. 318)



## 1.2.2 Mapy aparentního difúzního koeficientu

Výpočet ADC je prováděn softwarem automaticky a výsledek je zobrazen formou parametrické mapy ADC, zobrazující difúze molekul vody přes různé tkáně.

Teoreticky je možné získat čisté mapy difúze vody pořízením dvou snímků s různými hodnotami  $b$  podle jednoduché rovnice:

$$ADC = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{S_1}\right)}{(b_1 - b_0)},$$

kde  $S_0$  a  $S_1$  jsou intenzity signálu získané při hodnotách  $b_0$  a  $b_1$ . Výsledek je udán v jednotkách  $\frac{mm^2}{s}$ . Výpočet lze provést pro oblasti zájmu nebo pro jednotlivé voxely, čímž se získají obrazy s vypočteným ADC. Tato jednoduchá rovnice je však přesná (poskytuje skutečný difúzní koeficient  $D$ ) pouze v případě, že se difúze vody chová volně, tj. rozložení posunů způsobených difúzí se řídí Gaussovým zákonem. Ovšem to pro tkáně v lidském těle neplatí. U DWI difundují molekuly vody na vzdálenostech v řádu pouhých několika mikrometrů, přičemž se setkávají nebo interagují s mnoha dalšími molekulami a buněčnými buňkami. (Le Bihan, 2013, s. 318)

Mapy ADC poskytují kvantitativní informace a různé studie prokázaly inverzní korelaci mezi hodnotami ADC a vyššími Gleasonovými stupni karcinomu prostaty (Manetta et al., 2019, s. 216-222; Kim et al., 2016, s. 377-382). Vzhledem k překrývání hodnot zjevného difúzního koeficientu mezi karcinomem a zánětem a rozdílným ve složení tkáně periferní zóny a přechodové zóny však není možné stanovit absolutní práh pro rozlišení na základě jedné hodnoty. Hodnoty zdánlivého difúzního koeficientu závisí také na rozsahu použitých hodnot  $b$ , intenzitě magnetického pole a typu použité cívky. Hodnoty zdánlivého difúzního koeficientu proto nemusí být univerzálně reprodukovatelné u různých výrobců. Pokud se volná voda na snímku DWI jeví jako hyperintenzivní, signál je na mapě ADC hypointenzivní. Pro klinické použití a hodnocení DWI snímků při vyšetření hledáme oblasti omezené difúze, tedy oblasti s nízkým signálem na mapě ADC. Neexistuje žádný jednotný limit pro stupeň „normální“ difúze od restrikce difúze. (Panda et al., 2020, s. 16-17)

## 1.3 Prostata

MR zaujímá důležitou roli ve vyšetření prostaty u mužů. Konvenční MR umožňuje multiparametrické (metoda umožňující získat ideální 3D zobrazení z několika různých sekvencí) zobrazení prostaty a stala se z něj standardní zobrazovací technika při diagnostice. Nedávné studie prokázaly narůstající důležitou roli snímků z MR při strategii léčby karcinomu prostaty řízenou magnetickou rezonancí (A et al., 2017, s. 388-396) (Bertelli et al., 2022, s. 2-10).

### 1.3.1 Anatomie

Prostata, nesoucí také označení předstojná žláza, je přídatná pohlavní žláza uložená pod močovým měchýřem a kolem začátku močové trubice. Má tvar komolého anterioposteriorně zploštělého kužele. Skládá se z báze prostaty (*basis prostatae*), hrotu prostaty (*apex prostatae*) a uretrální části (*pars prostatica urethrae*), kde vystupuje a samovolně pokračuje *urethra* (močová trubice). Prostatu dělíme při zobrazování z praktického hlediska na periuretrální zónu (periferní zónu), obsahující slizniční žlázy, vnitřní zónu (centrální zónu), obsahující submukosní žlázy, a vnější zónu (přední fibromuskulární stroma), obsahující hlavní žlázy uložené ve vazivově-svalovém stromatu prostaty. Klíčovými referenčními orientačními body jsou močová trubice a v *colliculus seminali*. Hlavní žlázy ústí do *pars prostatica urethrae*, *colliculus seminali* (hrbolek v němž se nachází otvor vedoucí do *utricleus prostaticus*), *ductus ejaculatorii* (ústící do *colliculus seminali*), prostatické žlázy a *ductuli prostatici* (skupina 15-30 otvorů umístěných na dorsální straně močové trubice). (Čihák, 2016, s. 356-360)

#### Zobrazení na MR obrazech

Zdravá tkáň periferní zóny má na T2 vážených obrazech homogenní vysokou intenzitu signálu (hypersignální). Vysoký signál periferní zóny se přisuzuje žlázoému složení periferní zóny a volnému uspořádání svalových vláken v periferní zóně ve srovnání s centrální zónou. Periferní zóna je také nejčastějším místem výskytu karcinomu prostaty - 70 % karcinomů prostaty vzniká právě v ní (Panda et al., 2020, s. 6).

Zdravá tkáň centrální zóny je na snímcích patrná pouze v horní části prostaty a leží za proximální prostatickou uretrou. Je nejlépe zobrazitelná v koronální rovině a na T2 vážených obrazech se jeví jako homogenně hyposignální až se střední intenzitou signálu. Normální centrální zóna je oboustranně symetrická a lze v ní pozorovat průchod ejakulačních kanálků. S přibývajícím věkem dochází k postupné atrofii centrální zóny, která je posunuta směrem

k bázi a může mít více heterogenní intenzitu signálu. I když centrální zóna není typickým místem výskytu karcinomu prostaty (pouze 1-5 % všech karcinomů prostaty vzniká v této oblasti) (Panda et al., 2020, s. 7), rozpoznání normálního vzhledu centrální zóny je důležité, protože často může být nesprávně interpretována jako karcinom kvůli své konfiguraci a nízké intenzitě signálu.

Fibromuskulární stroma má homogenně nízkou intenzitu signálu, protože je zcela neglandulární (bez žláz) a skládá se ze stromální a fibrózní tkáně. Navzdory svému neglandulárnímu složení se až 8 % karcinomů prostaty (Panda et al., 2020, s. 7) může vyskytovat právě v předním stromatu, a to v důsledku přilehlého šíření z přilehlé periferní zóny nebo přechodové zóny.

Mezi další anatomické struktury, které lze na snímcích prostaty pozorovat, patří kapsule prostaty, močová trubice, semenné vajíčky, chámovody, sigmoideum a rektum. Znalost těchto struktur je důležitá pro přesnou lokalizaci karcinomu a stanovení stádia (staging). (Panda et al., 2020, s. 3-9)

### **1.3.2 Funkce**

Prostata je základním prvkem pro fungování mužského reprodukčního systému a správné fungování produkce a funkce spermií je důležité pro mužské reprodukční zdraví.

#### **Produkce tekutiny pro sperma:**

V prostatě se produkuje jedna část spermatu. Spolu se spermatickými buňkami z varlat, tekutinou ze semenného vajíčku a sekretem uvolňovaným další žlázou velikosti hrášku pod prostatou (bulbouretrální žláza) tvoří prostatická tekutina sperma. Všechny tyto tekutiny se mísí v močové trubici. Prostatický sekret je důležitý pro správnou funkci spermatických buněk, a tedy i pro plodnost u mužů. Řídká mléčná tekutina obsahuje mnoho enzymů, například prostatický specifický antigen (PSA). Tento enzym způsobuje, že sperma je řidší. Hormonům podobná látka spermin zajišťuje především pohyblivost (schopnost pohybu) spermatických buněk. Při ejakulaci uzavírá prostata a svěrač močového měchýře močovou trubici až k močovému měchýři, aby se sperma nedostalo do močového měchýře. (Kumar et al., 1995, s. 231-243), (Verze et al., 2016, s. 379-386)

### **Uzavření semenovodů během močení:**

Svaly centrální zóny během močení uzavřou vývodné cesty prostaty, aby se moč nemohla dostat dovnitř. (Verze et al., 2016, s. 379-386)

### **Metabolismus hormonů:**

V prostatě se mužský pohlavní hormon testosteron mění na biologicky aktivní formu dihydrotestosteronu. (Kumar et al., 1995, s. 231-243), (Verze et al., 2016, s. 379-386)

## **1.3.3 Onemocnění prostaty**

Přibližně 25 % mužů na světě ve věku 55+ let trpí onemocněním prostaty. Ve věku 70 let se tento počet zvýší až na 50 % (Garnick, 2015, s. 10). Počáteční stádia onemocnění nemusejí mít pro pacienta žádné příznaky. V rámci onemocnění prostaty rozlišujeme tři nejčastější formy onemocnění: zánět (prostatitida), nenádorové zvětšení prostaty (benigní hyperplazie prostaty, BPH) a rakovinu prostaty. Pacient může zažít jeden nebo více těchto onemocnění. (Garnick, 2015, s. 10), (Kim et al., 2021, s. 2)

### **Prostatitida**

Zánět prostaty může postihnout muže jakéhokoliv věku, avšak nejčastěji se vyskytuje u mladých mužů v rozmezí věku 30-50 let. Rozlišujeme zánět dvojího typu: bakteriální (akutní nebo chronická bakteriální infekce) a nebakteriální (zánět prostaty známý jako syndrom chronické pánevní bolesti). Ve většině případů je příčina neznámá. Bakteriální prostatitida dobře reaguje na antibiotika. Nebakteriální prostatitida je nejběžnější formou zánětů a její léčba je náročnější. Příznaky jsou u každého muže specifické a neexistuje jednotný test k diagnostice. Mezi možné rizikové faktory prostatitidy patří: prodělaná bakteriální prostatitida, podráždění chemikáliemi, sexuální zneužívání, problémy se svaly pánevního dna a/nebo chronické úzkostné problémy. (Kim et al., 2021, s. 2-4), (Verze et al., 2016, s. 379-386)

### **Benigní prostatická hyperplazie**

Pravděpodobnost nenádorového zvětšení prostaty roste s přibývajícím věkem pacienta. Neohrožuje pacienta na životě, ale výrazně ovlivňuje kvalitu života. Zvětšená prostata způsobuje zúžení močové trubice a vyvíjí tlak na dno močového měchýře. To může vyústit až v obstrukci toku moči. Pokud dojde k náhlému uzávěru moči v močovém měchýři, označujeme to za akutní retenci moči. Pro pacienta má velmi bolestivý projev a obvykle je potřeba zavedení tenké hadičky/katétru do močového měchýře k uvolnění odtoku moči. Pokud by tento stav přetrvával, mluvíme o chronické retenci, která není tak častá, ale může vést

k nebezpečnému nebolestivému hromadění moči v močovém měchýři. Tento stav by mohl dojít až k poškození ledvin. (Kim et al., 2021, s. 2-4), (Verze et al., 2016, s. 379-386)

## **Rakovina prostaty**

Obvykle se vyskytuje u mužů nad 50. rokem života. (Sekhoacha et al., 2022, s. 11) Příčina zůstává neznámá, i když mezi známé faktory patří zvyšující se věk a rodinná anamnéza. V raných stádiích jsou rakovinné buňky omezeny svou lokací na prostatu. Mezi typické příznaky patří: potíže s močením, potíže se zahájením toku moči, nutkání na časté močení, pocit nemožnosti zcela vyprázdnit močový měchýř, bolestivé močení a/nebo krev v moči. Léčba je přizpůsobena jedinci a jeho aktuálnímu zdravotnímu stavu. Povaha rakoviny a další zdravotní problémy jsou brány v úvahu při volbě strategie léčby. Přístupy k léčbě rakoviny prostaty mohou být: *watchful waiting* (u mužů s predikcí života do 10 let a u mužů bez symptomů), prostatektomie (chirurgické odstranění prostaty), radioterapeutické metody, ablativní ošetření, hormonální léčba, chemoterapie. U agresivnějších a pokročilejších forem se rakovinné buňky dostávají časně do cévního a lymfatického systému a šíří se tělem, kde mohou vznikat sekundární nádory. Především se sekundární nádory vyskytují v kostech. Příznaky jsou individuální a nemusejí se projevovat. (Sekhoacha et al., 2022, s. 9-14), (Kim et al., 2021, s. 2-4), (Verze et al., 2016, s. 379-386)

### **1.3.4 Gleasonovo skóre**

Dříve se karcinomy prostaty hodnotily převážně pomocí univerzálního čtyřstupňového Brodersova systému publikovaného v roce 1926. (Kweldam et al., 2019, s. 151) Tento klasifikační systém byl založen na hodnocení procenta žlázové mikroskopické diferenciace. Podrobná studie publikovaná v první dekádě 20. století již zmiňovala širokou variabilitu vzhledu karcinomu prostaty a rozeznávala několik histologických růstových vzorů, jako jsou acinární, scirrhous a solidní. Tato morfoloická heterogenita představuje výzvu pro vývoj klasifikačního systému při určování, které histologické znaky by měly být brány v úvahu pro přidělení stupně. (Kwellam et al., 2019, s. 146-152), (Sringley et al., 2016, s. 339-341)

Gleasonovo skóre je pojmenováno po Dr. Donaldu Gleasonovi, který v 60. letech 20. století předběhl svou dobu a vypracoval tento systém histologické klasifikace. Systém klasifikace je speciálně pro karcinom prostaty, který byla zcela založena na různých architektonických vzorcích. Při odběru biopsie prostaty patolog prozkoumá vzorky tkáně pod mikroskopem a přiřadí hodnotu (skóre) 1 až 5. Vyšší hodnoty uvažujeme za projev agresivnějšího chování. Protože většina karcinomů prostaty vykazuje více než jeden typ růstového vzorce, přiřadil

hodnotu dvěma nejčastěji zastoupeným vzorkům. Tato dvě skóre se poté sečtou a získá se celkové Gleasonovo skóre. Výsledné skóre 6 nebo nižší se považuje za nízký stupeň a obvykle roste pomalu. Skóre 7 je střední stupeň, zatímco skóre 8 až 10 je vysoký stupeň a označuje agresivnější rakovinu, která se s větší pravděpodobností rozšíří do dalších částí těla. Gleasonovo skóre je jedním z nejdůležitějších faktorů při určování vhodné léčby rakoviny prostaty. Kromě Gleasonova skóre se při určování vhodné léčby rakoviny prostaty zohledňují i další faktory, jako je stadium rakoviny, věk a celkový zdravotní stav pacienta a jeho osobní preference. Mezi možnostmi léčby rakoviny prostaty patří chirurgický zákrok, radioterapie, hormonální léčba a vyčkávací léčba nebo aktivní sledování. (Kwellam et al., 2019, s. 146-152), (Sringley et al., 2016, s. 339-341)

### **1.3.5 Prostatický specifický antigen**

Prostatický specifický antigen (PSA) je glykoprotein produkováný epiteliálními buňkami prostaty a sekretováný ve spermatu. Hraniční hodnota referenční hodnoty PSA při testování hodnoty z krevních testů je 4 ng/ml. Hodnoty PSA nad 4 ng/ml je vhodné doplnit o další testy, protože zvýšení hodnot PSA mohou způsobit i benigní onemocnění prostaty. Změny v normální histoarchitektury prostaty nastávající v případě benigních patologií (hypertrofie prostaty nebo prostatitida) a v případě rakoviny prostaty, způsobuje zvýšení krevních hladin PSA. Tyto zvýšené hladiny je nutné považovat za marker onemocnění prostaty. Hladiny PSA mezi 4 ng/ml a 10 ng/ml naznačují, že možnost mít rakovinu prostaty je asi 25 %. Pokud je hladina PSA vyšší než 10 ng/ml, je riziko rakoviny prostaty více než 50 %. (Lucarelli et al., 2023, s. 1-3)

Z důvodu nízké diagnostické specifity testu PSA byly navrženy některé jeho varianty – deriváty PSA (poměr volného/celkového PSA, hustota PSA a rychlost PSA), aby se optimalizovalo jeho použití při výběru klinicky významných nádorů: (Lucarelli et al., 2023, s. 1-3)

- Nižší poměr volného/celkového PSA je spojen s vyšším rizikem rakoviny prostaty.
- Vysoké hodnoty hustoty PSA (hladina PSA dělená objemem prostaty vyjádřeným v ng/ml/cc) jsou indikátory možnosti rakoviny prostaty. V praxi hodnoty nižší než 0,1 ng/ml/cc naznačují benigní onemocnění prostaty, zatímco hodnoty vyšší než 0,15 ng/ml/cc naznačují pro karcinom prostaty.

- Rychlost PSA vyjadřuje rychlost nárůstu hladin PSA v čase; roční nárůst více než 2 ng/ml je považováno za suspektní pro maligní onemocnění prostaty. (Lucarelli et al., 2023, s. 1-3)

## 1.4 Vyšetření prostaty

Díky značnému pokroku v technologii MR se magnetická rezonance stala uznávanou zobrazovací metodou pro hodnocení karcinomu prostaty. Za účelem standardizace vyšetření a vykazování MRI prostaty stanovila Evropská společnost pro urogenitální radiologii (ESUR) na základě konsenzu pokyny pro získávání, interpretaci a strukturované hodnocení MRI prostaty známé jako Prostate Imaging and Reporting Data System (PI-RADS) verze 1 (PI-RADS v1). Poté v roce 2015 ESUR a American College of Radiology (ACR) společně vydaly druhou verzi PI-RADS (PI-RADS v2), která měla několik důležitých změn. Nedávno byla vydána verze PI-RADS v2.1, která dále zpřesňuje protokoly magnetické rezonance a aktualizuje hodnocení přechodové zóny. U pacientů, kteří nedávno podstoupili biopsii prostaty, může krvácení po biopsii zkreslit interpretaci MRI. Proto PI-RADS v2 doporučuje vyčkat alespoň 6 týdnů po biopsii, pokud se MRI provádí za účelem lokálního stagingu karcinomu. (Taghipour et al., 2019, s. 22)

### 1.4.1 Indikace

Přesně stanovaná pravidla pro využití MR u karcinomu prostaty nejsou definována. Zpravidla se využívá při zvýšených hodnotách PSA (prostatický specifický antigen). V následujících případech je doplnění o vyšetření MR přínosem: (Turkbey et al., 2016, s. 326-336)

- Biopticky negativní pacienti se zvýšenou hodnotou PSA a/nebo pozitivním digitálním rektálním vyšetřením, kteří mohou současně trpět příznaky souvisejícími s dolními močovými cestami (např. časté močení, pálení při močení, slabý nebo přerušovaný močový proud), před rozhodnutím o biopsii. Zde může vyšetření MR definovat lézi, která bude podkladem pro obrazově řízenou biopsii. V opačném případě může negativní nález umožnit pacientovi odklad biopsie a pokračovat ve sledování hodnot PSA.

- Předchozí negativní biopsie navzdory zvyšujícímu se PSA. Zde může vyšetření MR poukázat na lézi, která mohla být při biopsii přehlédnuta anebo poskytnout vysvětlení zvyšujících se hodnot PSA (například BPH) při absenci rakoviny.
- Předchozí pozitivní biopsie rakoviny. Zde může vyšetření MR poskytnou užitečné informace pro biopsii v návaznosti na stanovení stádia karcinomu a následnému plánování léčby. Naopak v případě negativního nálezu lze za správných klinických okolností a stavu pacienta zvolit strategii aktivního sledování.
- Vzestup PSA po definitivní léčbě (biochemická recidiva po operaci nebo ozařování). Zde může pozitivní nález při vyšetření MR pomoci identifikovat místo recidivy.

(Turkbey at al., 2016, s. 326-336)

## 1.4.2 Kontraindikace

Rozlišujeme dvě skupiny kontraindikací, které znemožňují pacientovi podstoupit vyšetření: absolutní a relativní.

Mezi absolutní kontraindikace řadíme takové, které jsou rizikové z důvodu silného magnetického pole a ohrožují život pacienta. Jsou to například implantovaná elektronická zařízení (kardiostimulátor, implantovaný kardioverter-defibrilátor, inzulinová pumpa nebo kochleární implantát a další), kovová střepina v oku nebo ponechané aneuryzmatické cévní svorky (klipy), pokud není písemně doložena jejich MR kompatibilita. Pacientovi, který má v těle něco z výše uvedených, hrozí při vstupu do magnetického pole nebezpečí pohybu implantátu, přehřátí kovových částí a následné popálení. Pro samotné vyšetření to s sebou nese rizika vzniku artefaktů v obraze a nedostatečné kvality obrazových dat. Pacienti, kteří mají implantovaný speciální (kompatibilní) kardiostimulátor či kardioverter–defibrilátor, mohou u svého arytmologa přepnout zařízení do režimu „MR safe“ před vyšetřením a po vyšetření jej zase vypnout. V případě, že pacient disponuje takovým implantátem, je nutno, aby od svého lékaře donesl před vyšetřením potvrzení od arytmologa o komptabilitě implantovaného zařízení s MR. (McRobbie et al., 2017, s. 18-19)

Mezi relativní kontraindikace řadíme takové, které jsou rizikové pro pacienta jen za určitých okolností. Jsou to například kovové kloubní náhrady, stenty (cévní výztuže), mechanické chlopně nebo jakýkoliv osteosyntetický materiál, který byl implantován do 6 týdnů před vyšetřením nebo pacient nemá potvrzení o MR komptabilitě. Mezi relativní kontraindikaci řadíme i eventuální klaustrofobii pacienta. Pokud si je pacient předem vědom, že vyšetření



v gantry mu způsobí pocity úzkosti, lze takové situace řešit za pomoci medikace předepsané od praktického lékaře spolu s doprovodem na vyšetření. Pokud by pacient věděl, že takové vyšetření u něj vyvolá silné a nezvladatelné pocity úzkosti, je možné vyšetření absolvovat v analgosedaci či v celkové anestezii pod dohledem anesteziologa. (McRobbie et al., 2017, s. 18)

### **1.4.3 Příprava pacienta a průběh vyšetření**

#### **Příprava pacienta**

Neexistují jednoznačné konsenzuální pokyny týkající se přípravy pacienta na vyšetření magnetickou rezonancí. Evakuace stolice v den MR vyšetření se doporučuje. Pacient by měl mít z části naplněný močový měchýř tak, aby zvládl během doby vyšetření ležet a nemusel potřebovat na toaletu. Dále je doporučené lačnění 4 h před vyšetřením a pití neslazených nápojů v den vyšetření. Dále by pacient měl mít s sebou výsledky krevního obrazu (kreatinin a urea) ne starší 4 týdnů v případě podání kontrastní látky. Pacient by měl být obeznámen s délkou trvání vyšetření. To se může na jednotlivých klinikách mírně lišit, ale přibližná doba je okolo 20-40 minut.

Pacient by měl na termín vyšetření dorazit s předstihem. Po ověření totožnosti pacienta, předá personál pacientovi informovaný souhlas, který si pacient přečte, a po zodpovězení všech případných otázek, jej podepíše. Lékař radiolog informuje pacienta o průběhu vyšetření a možných rizicích s tím spojených. Poté odvede personál pacienta do odkládací kabinky, kde pacienta informuje, jaké oblečení a co bude muset na vyšetření odložit a nechat v kabině. Je důležité dohlédnout, aby pacient nevešel k MR přístroji s kovovými předměty (jako mohou být klíče, hodinky, mobilní telefon, pásek, šperky ...). Před samotným vstupem do vyšetřovací místnosti, kde se nachází MR přístroj, musí radiologický asistent (RA) ověřit u pacienta skutečnosti, které by mohly být kontraindikací k vyšetření MR. Při vyšetření s podáním kontrastní látky RA/zdravotní sestra zavede pacientovi periferní žilní katetr a ověří hodnoty kreatininu a urey z výsledků krve, zda jsou v rozmezí normy. Nutno ověřit alergickou anamnézu před podáním kontrastní látky. Pokud by pacient měl vyšetření podstoupit v celkové anestezii, pacient bude nejdříve přijat na lůžkovém oddělení.

#### **Průběh vyšetření**

Pacient by měl mít na vyšetření dostatečně naplněný močový měchýř, aby bylo možné zachytit stěnu měchýře, ale zároveň dostatečně prázdný, aby pacient nepotřeboval na toaletu během vyšetření. Pacient leží na vyšetřovacím stole zpravidla na zádech. Pro pohodlí pacienta

a jeho fixaci pozice použijeme podložku pod hlavu a eventuálně menší podporu pod kolena. Přes oblast celé pánve se umístí cívka. Cívka by měla obklopovat oblast od bederní páteře (L4-5) po sedací hrboly kosti sedací. Dále se pacientovi poskytne ochrana uší ať v podobě sluchátek či špuntů do uší. Pacientovi se do ruky podá SOS signalizační tlačítko. Pokud má pacient zavedený žilní katetr, umístíme jej tak, aby byl v průběhu vyšetření přístupný pro podání kontrastní látky. Optáme se pacienta, zda je vše v pořádku, zda nemá ještě nějaké dotazy. Připomeneme pacientovi nutnost zůstat ležet v klidu a nehýbat se. Poté se provede centrace na oblast močového měchýře a zavezeme pacienta do gantry přístroje.

Poté se RA přesune do vyšetřovací místnosti. Během vyšetření udržuje vizuální i komunikační kontakt s pacientem. RA provede potřebné skeny a vyšetření dle systému PI-RADS.

#### **Po vyšetření**

Po dokončení vyšetření je pacient opatrně vyvezen z gantry přístroje. Poté se odejme SOS signalizační tlačítko a odstraní se cívka z pacienta. Dále je pacient svezem s vyšetřovacím stolem na nižší úroveň výšky. Pokud se pacient cítí v pořádku, doprovodíme jej do kabinky. Zde by měl pacient vyčkat se zavedeným žilním katetrem alespoň 30 minut po podání kontrastní látky. Během této doby RA kontroluje stav pacienta. Pokud se pacient cítí dobře, můžeme žilní katetr odstranit a pacienta propustit. Informujeme pacienta o způsobu doručení zprávy z vyšetření odesílajícímu lékaři.

#### **1.4.4 Program časného zachytu nádorů prostaty**

Pilotní screeningový program časného zachytu nádorů prostaty Ministerstva zdravotnictví České republiky byl spuštěn v lednu 2024. Cílem programu je detekce karcinomu prostaty v časných stádiích pomocí nejnovějších diagnostických metod a zajistit včasnou léčbu a lepší prognózu onemocnění u pacientů. Oslovení pacientů pro zařazení do programu provádí praktický lékař nebo urolog. Oslovování jsou muži v rizikovém věku od 50 do 69 let, kteří nejsou léčeni pro příznaky nádorového onemocnění prostaty a neměli odběr krve pro zjištění hladiny PSA v posledních 2 letech. Zařazení mohou být i muži v daném věkové rozmezí, kteří se léčí pro jiné onkologické onemocnění. Současně mohou být do programu zařazení muži starší 70 let, kteří mají dobrý zdravotní stav a očekávanou délku života 10-15 let. (Koudelková et al., 2024) (Zachoval et al., 2019, s. 102-109)

Program má několik fází. V první fázi jsou pacienti v rizikovém věku oslovováni praktickými lékaři nebo urology. Lékař vysvětlí cíl programu zachytu nádorů prostaty, jeho

průběh, důležitost a možná rizika spojená s vyšetřením. Pokud pacient bude se zapojením do programu souhlasit, lékař vystaví pacientovi žádanku na odběr krve pro stanovení hladiny PSA. Odběry jsou prováděny na jednom ze 140 akreditovaných pracovištích. V případě, že pacient odmítne účast na programu, bude oslovován pravidelně každé 2 roky až do navržení vrchní hranice věku. (Koudelková et al., 2024)

Dle výsledků hladiny PSA lékař naplánuje další postup sledování:

- Hladina PSA menší než 1,0  $\mu\text{g/l}$  – další provedení testu z krevního odběru za 4 roky;
- Hladina PSA větší než 1,0  $\mu\text{g/l}$  a zároveň menší než 2,99  $\mu\text{g/l}$  – další provedení testu z krevního odběru za 2 roky;
- Hladina PSA větší než 3,0  $\mu\text{g/l}$  – pacient bude odkázán k urologickému odborníkovi, ten rozhodne o provedení podrobnějších vyšetření a určí další postup sledování.

(Koudelková et al., 2024)

V další fázi certifikovaný odborný urolog provede klinické urologické vyšetření. Dle výsledků vyšetření a zda nejsou přítomna nějaká další onemocnění, se urolog rozhodne o dalších vyšetření dle navrženého algoritmu programu. Urolog pacientovi vystaví žádanku, poučí o průběhu vyšetření a odesílá pacienta na vyšetření prostaty MR na akreditované pracoviště. Vyšetření probíhá dle „Standardu provedení multiparametrického zobrazení prostaty magnetickou rezonancí v rámci programu časného zachytu“. Do programu je celkem zapojeno 31 akreditovaných pracovišť s MR pro provedení multiparametrického vyšetření. Po radiologickém vyšetření obdrží urolog výsledky a řídí další postup ve screeningu. Dle nálezů indikuje pacienta k došetření. Další možností k došetření může být odebrání vzorku tkáně (biopsie) z prostatické tkáně, které se provádí na jednom z 34 akreditovaných pracovišť. Poslední fází programu je odeslání pacienta do komplexní onkologických center nebo do center vysoce specializované onkourologické péče. Ta nastane v případě, že nález vyžaduje léčbu a stanovení léčebného postupu, které se provádí v rámci multidisciplinárního týmu. (Koudelková et al., 2024) (Zachoval et al., 2019, s. 102-109)

## 1.4.5 PI-RADS

Současný systém PI-RADS (*Prostate Imaging Reporting and Data System*) standardizoval pořizování snímků a jejich popis a usnadnil sdělování nálezů urologovi. Proto jej lze považovat za povinný klíčový prvek v oblasti vyšetření prostaty MR. To mělo obrovský dopad na diagnostické vyšetření pacientů s podezřením na karcinom prostaty, přičemž MR je

začleněna do mnoha pokynů pro vyšetření karcinomu prostaty. Evropská urologická společnost zavedla systém PI-RADS v roce 2012. Aktualizovaná verze (PI-RADS v2.1) byla zveřejněna v roce 2015 ve spolupráci s americkou College of Radiology a nadací AdMeTech. Systém PI-RADS není založen na důkazech z klinických výzkumných studií, ale spíše na odborných znalostech, nicméně několik studií potvrdilo, že systém PI-RADS zlepšuje diagnostickou přesnost MR (Leung et al., 2021; Franiel et al., 2015). Celkovým důvodem pro zavedení systému PI-RADS bylo "zlepšit detekci, lokalizaci, charakterizaci a stratifikaci rizika u pacientů s podezřením na karcinom prostaty v případné léčebné strategii". Systém PI-RADS není v současné době použitelný pro hodnocení odpovědi na léčbu u pacientů s karcinomem prostaty. (Hamm et al., 2018, s. 99-115), (Taghipour et al., 2019, s. 20-27)

Vyšetření lze provádět na MR s magnetickým polem o síle 1,5 T i 3 T, a to s použitím nebo bez endorektální cívky. Použití MR s magnetickým polem o síle 3 T nabízí lepší poměr signál-šum a kratší dobu skenování.

Vyšetření prostaty MR by mělo zahrnovat následující sekvence:

**T2 vážený obraz:** turbo spin-echo sekvence, řez tloušťky  $\leq 3$  mm (bez mezery mezi řezy) a prostorové rozlišení v rovině  $\leq 0,7$  mm (směr kódování fáze)  $\times \leq 0,4$  mm (směr frekvenčního kódování).

**Difúzně vážený obraz:** spin – echo planární sekvence se saturací tuku, tloušťka řezu  $\leq 4$  mm (bez mezery mezi řezy), prostorové rozlišení v rovině  $\leq 2,5$  mm (směr fázového a frekvenčního kódování) a nejméně dvě b-hodnoty (nízká b-hodnota 50-100 s/mm<sup>2</sup> a vysoká b-hodnota (800-1000 s/mm<sup>2</sup>) s postupným výpočtem ADC mapy. Pokud SNR dovolí, je doporučeno zahrnout i nejvyšší b-hodnotu 1400-2000 s/mm<sup>2</sup>.

**Dynamické zobrazení kontrastní látky:** 2D nebo 3D gradient-echo sekvence s časovým rozlišením pod 10 s (nejlépe pod 7 s) na akvizici, tloušťka řezu  $\leq 3$  mm (bez mezery mezi řezy) a prostorové rozlišení v rovině  $\leq 2$  mm (směr kódování fáze i frekvenční kódování).

(Hamm et al., 2018, s. 99-105), (Taghipour et al., 2019, s. 20-27)

Orientace řezu a tloušťka řezu by se měly u všech sekvencí vyšetření shodovat, aby bylo možné provést vzájemné srovnání. Rovněž by měla být pořízena sekvence s velkým zorným polem pokrývající pánevní lymfatické uzliny a skelet. (Hamm et al., 2018, s. 103-115)

Důležitou součástí systému PI-RADS v2.1 je skóre hodnocení rozdělený do 5 kategorií: PI-RADS 1 (velmi nízká pravděpodobnost klinicky významného karcinomu), PI-RADS 2

(nízká pravděpodobnost klinicky významného karcinomu), PI-RADS 3 (střední/nejednoznačná pravděpodobnost klinicky významného karcinomu), PI-RADS 4 (vysoká pravděpodobnost klinicky významného karcinomu) a PI-RADS 5 (velmi vysoká pravděpodobnost klinicky významného karcinomu). (Panda et al., 2020, s. 34)

## 2. VÝZKUMNÁ ČÁST

Výzkumná část diplomové práce se zaměřuje na kvantitativní retrospektivní analýzu souboru pacientů, kterým bylo na Klinice radiologie a nukleární medicíny FN Královské Vinohrady provedeno vyšetření prostaty magnetickou rezonancí. Popisuje, jaký cíl si klade práce, definuje hypotézy k analýze dat, podrobně specifikuje postup sběru dat a atributy, které jsou analyzovány prostřednictvím popisné statistiky a testováním hypotéz.

### 2.1 Cíl výzkumu

#### 2.1.1 Cíle výzkumu

Cílem této výzkumné části je podrobně analyzovat vztahy mezi vybranými klíčovými faktory ve snaze zdokonalit diagnostiku onemocnění prostaty. Konkrétně se zaměřujeme na věk pacientů, hodnoty PSA, hodnoty ADC a skóre PI-RADS v2.1 (v našem případě se konkrétně zabýváme skupinami skóre 4 a 5). Tato analýza má za úkol přispět k lepšímu porozumění diagnostických faktorů spojených s karcinomem prostaty a poskytnout relevantní informace pro klinickou praxi.

#### 2.1.2 Hypotézy

Naše výzkumné hypotézy směřují k identifikaci potenciálních korelací mezi těmito faktory a poskytnutí náhledu na jejich vzájemné vztahy. Předpokládáme, že hodnoty ADC, PSA a PI-RADS skóre mohou poskytovat užitečné informace pro diagnostiku a hodnocení maligních změn v prostatě. Tímto výzkumem se snažíme přispět k rozvoji diagnostických postupů a zvyšování účinnosti detekce karcinomu prostaty pomocí magnetické rezonance.

Na základě stanovených cílů výzkumné části práce byly stanoveny následující hypotézy:

Analýza hodnot ADC a skupin PI-RADS skóre.

- Hypotéza  $H_0$ : Neexistuje statisticky významná souvislost v hodnotách ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) a mezi PI-RADS skóre skupinami.
- Hypotéza  $H_1$ : Existuje statisticky významná souvislost v hodnotách ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) a PI-RADS skóre skupinami.

Analýza hodnot PSA a skupin PI-RADS skóre.

- Hypotéza  $H_{02}$ : Neexistuje statisticky významný rozdíl v hodnotách PSA a mezi PI-RADS skóre skupinami.
- Hypotéza  $H_{A2}$ : Existuje statisticky významný rozdíl v hodnotách PSA a mezi PI-RADS skóre skupinami.

Analýza korelace hodnot ADC s hodnotami PSA.

- Hypotéza  $H_{03}$ : Neexistuje statisticky významná korelace mezi hodnotami ADC a hodnotami PSA.
- Hypotéza  $H_{A3}$ : Existuje statisticky významná korelace mezi hodnotami ADC a hodnotami PSA.

Analýza vlivu hodnot ADC a PSA se skupinami PI-RADS skóre.

- Hypotéza  $H_{04}$ : Neexistuje statisticky významný lineární vztah mezi hodnotami PSA a hodnotami ADC pro obě PI-RADS skupiny (4 a 5).
- Hypotéza  $H_{A4}$ : Existuje statisticky významný lineární vztah mezi hodnotami PSA a hodnotami ADC pro alespoň jednu z PI-RADS skupin (4 nebo 5).

## 2.2 Metodika výzkumu

Na základě souhlasného stanoviska Etické komise Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci (viz Příloha 1) s realizací výzkumného šetření byl proveden kvantitativní retrospektivní výzkum souboru pacientů (mužů), vyšetřených magnetickou rezonancí ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady (FNKV) za období roku 2022 (leden 2022 až prosinec 2022).

V daném období bylo prostata vyšetřena magnetickou rezonancí 365 mužům. Z těchto pacientů byly vybráni ti, kteří spadali do skupiny dle systému PI-RADS v2.1 skóre 4 (vysoká pravděpodobnost klinicky významného karcinomu) nebo 5 (velmi vysoká pravděpodobnost klinicky významného karcinomu). Tyto požadavky splnilo 90 pacientů. Dále se u pacientů zjišťoval věk (ke dni vyšetření), PSA hodnoty a střední hodnota ADC (mean ADC). Hodnota ADC se měřila pomocí volné oblasti zájmu (ROI) v mm<sup>2</sup> u každé léze. ROI zahrnovala největší plochu léze v axiálním řezu bez zahrnutí okrajů, z důvodu

možného zkrácení výsledku okolní tkání. Pro měření byl využit software FONS a SYNGOVIA. Dvojitá měření byla prováděna za účelem stability výsledků. Ze souboru bylo vyloučeno 7 pacientů z důvodu neúplných údajů. Pro výzkumnou část této práce bylo ve výsledném datasetu 83 pacientů.

Vyšetření byla provedena pomocí 1,5 T MR Siemens Sola s využitím povrchové fázové cívky. Protokol zahrnoval:

T2 vážený obraz v sagitální rovině s parametry: TR = 3 610,00 ms, TE = 82,00 ms, tloušťka řezu = 3,0 mm, FOV (velikost pole) = 230 mm, rozměry voxelu = 0,7 x 0,7 x 3,0 mm<sup>3</sup>. T2 vážený obraz v transverzální rovině s parametry: TR = 6 700,00 ms, TE = 90,00 ms, tloušťka řezu = 3,0 mm, FOV = 220 mm, rozměry voxelu = 0,7 x 0,7 x 3,0 mm<sup>3</sup>. T1 vážený obraz v transverzální rovině s parametry: TR = 6,8 ms, TE = 4,77 ms, tloušťka řezu = 2,5 mm, FOV = 320 mm, rozměry voxelu = 0,9 x 0,9 x 3,0 mm<sup>3</sup>. DWI obrazy byly získány v transversální rovině na základě dvou b hodnot: 50 s/mm<sup>2</sup>, 800 s/mm<sup>2</sup>; TR = 3610,00 ms, TE pro b<sub>1</sub> = 56,00 ms, TE pro b<sub>2</sub> = 88,00 ms, tloušťka řezu = 4,0 mm, FOV = 200 mm, rozměry voxelu = 0,9 x 0,9 x 3,0 mm<sup>3</sup>.

ADC mapy byly zkonstruovány na základě monoexponenciálního modelu.

Dynamické zobrazení v transverzální rovině bylo realizováno pomocí intravenózní aplikace extracelulární makromolekulární gadoliniové kontrastní látky o objemu 0,2 cc/kg a aplikováno rychlostí 2 cc/s. Parametry snímání: TR = 6,4 ms, TE = 4,77 ms, tloušťka řezu = 3,0 mm, FOV = 220 mm, rozměry voxelu = 1,4 x 1,4 x 3,0 mm<sup>3</sup>. Celkem provedeno 32 měření s časovým rozlišením 7,32 s.

Výzkumný dataset byl inicializován prostřednictvím tabulky v programu Microsoft Office Excel a následně byl důkladně analyzován pomocí software RStudio. Prvním krokem tohoto procesu bylo provedení průzkumu souboru pomocí popisné statistiky. Během tohoto průzkumu bylo důsledně zkoumáno rozložení jednotlivých atributů v datasetu.

S cílem identifikovat potenciální odlehlé hodnoty byly použity vizuální nástroje, zejména boxploty. Tyto grafy poskytly ucelený pohled na distribuci dat a umožnily nám detekovat a vizualizovat extrémní hodnoty. Zároveň byly získány klíčové statistické informace, včetně minimální hodnoty, mediánu, průměru, maximální hodnoty, hodnot kvartilů a směrodatné odchylky.

Dalším krokem bylo ověření, zda sledovaná data vykazují normální rozdělení. Tento proces byl realizován prostřednictvím histogramů, které poskytly vizuální reprezentaci frekvence



hodnot v jednotlivých rozsazích. Paralelně byl využit Shapiro-Wilkův test normality, který statisticky ověřil shodu dat s normálním rozdělením.

Tato kombinace analytických postupů poskytla hlubší porozumění struktuře datasetu a jeho statistickým charakteristikám, což je klíčové pro následnou interpretaci a validaci výsledků analýzy.

Následovalo testování statistikou za cílem ověření hypotéz. V testovací části statistického zpracování dat byly využity boxploty a bodové grafy k vizualizaci vztahů zkoumaných atributů. Byla definována nulová hypotéza a k ní odpovídající alternativní hypotéza jako vstup k testování. Využity byly testy: neparametrický Wilcoxonův test pro dva nesouvislé vzorky, dvouvýběrový T-test spolu s F-testem na rovnost rozptylů a Spearmanův korelační test. Všechno testování bylo prováděno na hladině významnosti 5 % (0,05). Na závěr testování byla potvrzena či zamítnuta nulová hypotéza.

## 2.3 Výsledky výzkumu

### 2.3.1 Popisná statistika souboru

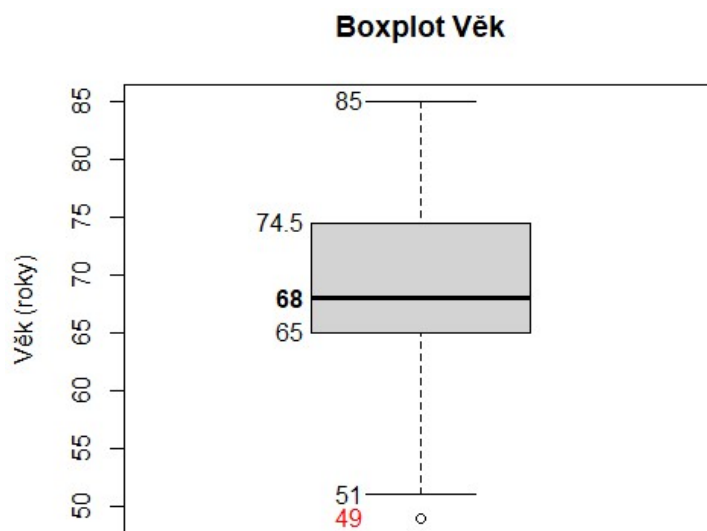
Pomocí popisné statistiky byla zkoumána data, jejich rozložení, klíčové statistické informace a zda odpovídají normálnímu rozložení.

V prvním kroku zkoumání datasetu se zaměřilo na atribut Věk pacientů. Pro získání důležitých statistických informací o distribuci dat byla využita funkce `summary()`, která poskytuje průměr, medián a směrodatnou odchylku. Výsledky těchto analýz jsou prezentovány v Obrázku 1. Jedná se o kvantitativní diskrétní veličinu, měřenou na celé roky.

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
1 83 68.52 7.48 68 68.76 7.41 49 85 36 -0.22 -0.27 0.82
```

Obrázek 1: Popisná statistika atributu "Věk".

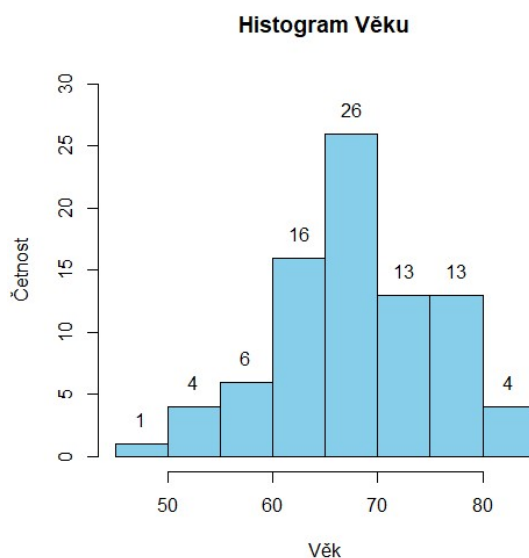
Průměrný věk pacientů činil 68,52 let, s mediánem 68 let a směrodatnou odchylkou 7,48 let. Minimální hodnota byla zaznamenána u pacienta ve věku 49 let, zatímco maximální hodnota u pacienta ve věku 85 let. Pro lepší vizualizaci distribuce věku pacientů a získání informací o kvartilech byl vytvořen Krabicový graf (boxplot), znázorněný na Obrázku 2.



Obrázek 2: Boxplot atributu "Věk" (roky). Zdroj: autor.

Pozoruhodná je minimální hodnota 49 let, která je označena jako odlehlá hodnota (outlier) a zobrazena červeně. Ve výsledném datasetu bude tato hodnota ponechána. Není považována za chybnou hodnotu. První a druhý kvartil mají rozmezí 65 let, třetí a čtvrtý kvartil mají rozmezí 74,5 let. Mezikvartilové rozpětí je 9,5 let. Maximální hodnota je 85 let.

Dalším krokem bylo zkoumání rozložení věkových hodnot pomocí histogramu, jak ilustruje Obrázek 3.



Obrázek 3: Histogram atributu "Věk" (roky). Zdroj: autor.

Graf ukazuje, že největší zastoupení hodnot (26 pacientů) se nachází v prostředním věkovém rozmezí 65–70 let. Zastoupení ostatních věkových skupin postupně klesá směrem k minimu/maximu. Z vizualizace lze usoudit, že rozložení dat má normální charakter. Pro potvrzení tohoto názoru byl proveden Shapiro-Wilkův test normality, jak je znázorněno na Obrázku 4.

#### Shapiro-wilk normality test

```
data: data$věk
w = 0.98557, p-value = 0.482
```

Obrázek 4: Shapiro-Wilkův test normality atributu "Věk". Zdroj: autor.

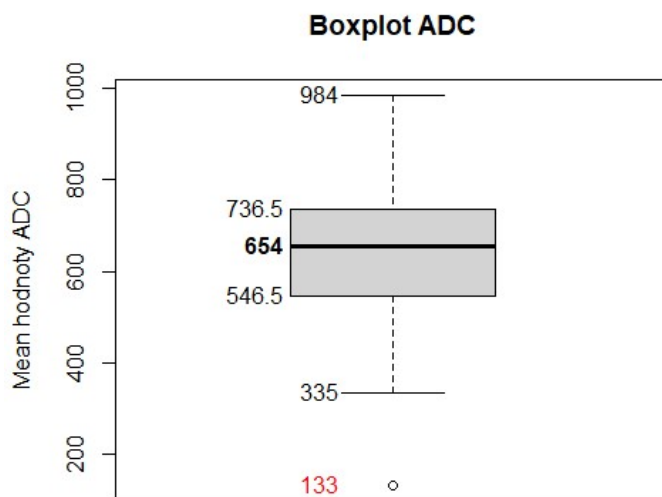
Na hladině významnosti 5 % ( $p = 0,05$ ) lze konstatovat, že data mají normální rozložení. Tím byla ověřena normalita věkových hodnot pacientů v našem datasetu.

Jako druhý byl zkoumán atribut *Mean ADC*. Funkcí `summary()` byla získána informace o rozložení datasetu, včetně průměru, mediánu a směrodatné odchylky středních hodnot ADC (viz Obrázek 5). Jedná se o kvantitativní spojitou veličinu.

```
vars  n   mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
1  83 633.51 157.19   654  639.82 145.29 133 984  851 -0.41    0.21 17.25
```

Obrázek 5: Popisná statistika atributu "ADC". Zdroj: autor.

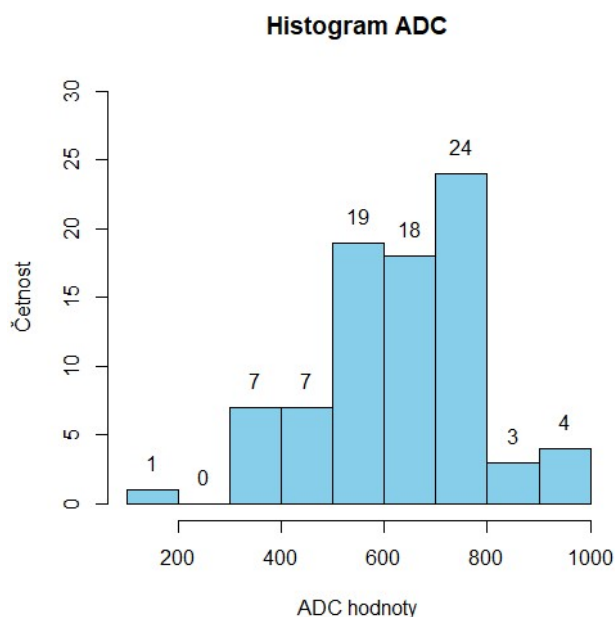
Průměrná hodnota ADC v datasetu pacientů činil 633,51 mm<sup>2</sup>/s, s mediánem 654 mm<sup>2</sup>/s a směrodatnou odchylkou 157,19 let. Minimální hodnota vyskytující se v datasetu byla 133 mm<sup>2</sup>/s, zatímco maximální naměřená hodnota byla 984 mm<sup>2</sup>/s. Pro lepší vizualizaci distribuce hodnot ADC a získání informací o kvartilech jsme vytvořili Krabicový graf (boxplot), znázorněný na Obrázku 6.



Obrázek 6: Boxplot atributu "ADC" (mm<sup>2</sup>/s). Zdroj: autor.

Z krabicového grafu na Obrázku 6 můžeme pozorovat, že medián 654 mm<sup>2</sup>/s. Pozoruhodná je minimální hodnota 133 mm<sup>2</sup>/s, která je označena jako odlehlá hodnota (outlier) a zobrazena červeně. Z následného datasetu tato hodnota bude vymazána a považována za chybnou či neobvyklou hodnotu. Jako minimální hodnotu zde máme vyznačeno 335 mm<sup>2</sup>/s. První a druhý kvartil mají rozmezí na hodnotě 546,5 mm<sup>2</sup>/s, třetí a čtvrtý kvartil mají rozmezí 736,5 mm<sup>2</sup>/s. Mezikvartilové rozpětí je 190 mm<sup>2</sup>/s. Maximální hodnota je 984 mm<sup>2</sup>/s.

Dalším krokem zkoumání atributu ADC bylo zobrazení pomocí histogramu, na Obrázku 7, k zjištění rozložení jednotlivých hodnot.



Obrázek 7: Histogram atributu "ADC" ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ). Zdroj: autor.

Graf ukazuje, že největší zastoupení hodnot (24) se nachází v rozmezí 700-800  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Zastoupení dvou následujících nejpočetnějších skupin (19 a 18) se nachází v rozmezích 500-700  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Zbytek hodnot se zvolna rozprostřely v ostatních hodnotách. Z vizualizace lze usoudit, že rozložení dat možná nemá normální charakter. Pro potvrzení tohoto názoru byl proveden Shapiro-Wilkův test normality, jak je znázorněno na Obrázku 8.

#### Shapiro-wilk normality test

```
data: data$`ADC mean`
W = 0.9806, p-value = 0.2436
```

Obrázek 8: Shapiro-Wilkův test normality pro atribut "ADC". Zdroj: autor.

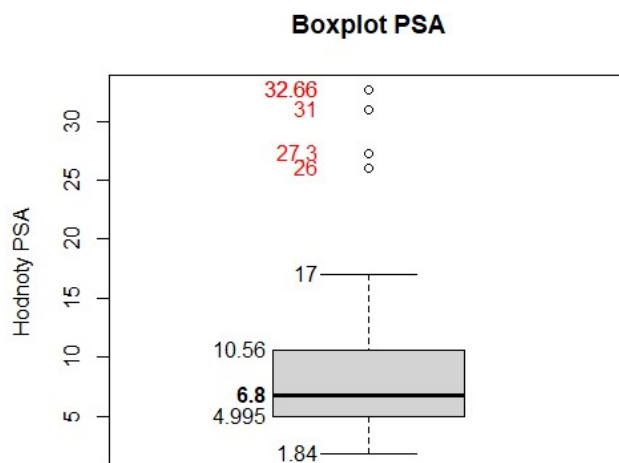
Na hladině významnosti 5 % ( $p = 0,05$ ) lze konstatovat, že data mají normální rozložení. Tím byla ověřena normalita hodnot ADC v našem datasetu.

Dalším atributem našeho zkoumání byla PSA hodnota pacientů. Funkcí `summary()` se získala informace o rozložení datasetu, včetně průměru, mediánu a směrodatné odchylky středních hodnot PSA (viz Obrázek 9). Jedná se o kvantitativní spojitou veličinu.

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
1 83 9.04 6.62 6.8 7.9 3.14 1.84 32.66 30.82 1.96 3.86 0.73
```

Obrázek 9: Popisná statistika atributu "PSA" (ng/ml). Zdroj: autor.

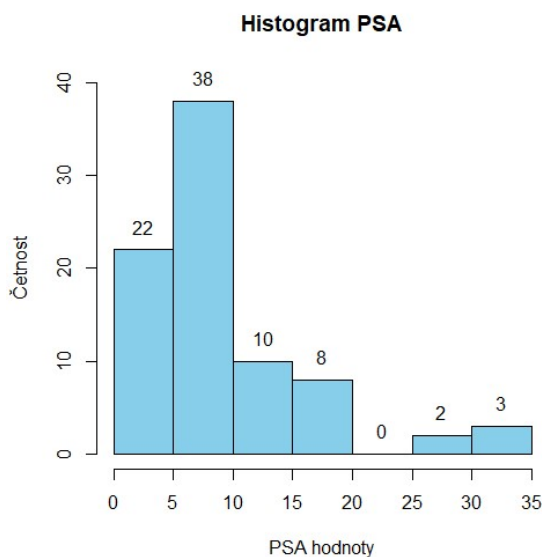
Z výsledku můžeme vyčíst, že průměrná hodnota je 9,04 ng/ml, medián vychází na 6,8 ng/ml a směrodatná odchylka 6,62 ng/ml. Minimální hodnota PSA v datasetu je 1,84 ng/ml, naopak maximální hodnota je 32,66 ng/ml. Pro lepší vizualizaci distribuce hodnot PSA v datasetu a získání informací o kvartilech byl vytvořen Krabicový graf (boxplot), znázorněný na Obrázku 10.



Obrázek 10: Boxplot atributu "PSA" (ng/ml). Zdroj: autor.

Z krabicového grafu na Obrázku 10 můžeme vyčíst, že medián je 6,8 ng/ml. Minimální hodnota je 1,84 ng/ml, a naopak maximální je 17 ng/ml. První kvartil je do 4,995 ng/ml a třetí kvartil je od 10,56 ng/ml. Mezikvartilové rozpětí je 5,565 ng/ml. Zvláštní pozornost je věnována 4 odlehlým hodnotám (v grafu zvýrazněny červeně). V rámci našeho zkoumání nebudou tyto odlehlé hodnoty vymazány a bude se s nimi nadále pracovat, protože se jedná o naměřenou hodnotu z výsledků z laboratoře a není považována za chybu v měření.

Dalším krokem zkoumání atributu PSA bylo zobrazení pomocí histogramu, na Obrázku 11, k zjištění rozložení jednotlivých hodnot.



Obrázek 11: Histogram hodnot atributu "PSA hodnoty" (ng/ml). Zdroj: autor.

Z histogramu lze pozorovat, že nejpočetněji zastoupenou skupinou hodnot PSA byla v počtu 38 měření v rozmezí 5-10 ng/ml. Druhou nejpočetnější skupinou s četností 22 měření byla v rozmezí 0-5 ng/ml. Zbytek hodnot se zvolna rozprostřely v ostatních hodnotách v rozmezí 10-35 ng/ml. Z vizualizace lze tvrdit, že rozložení dat nemá normální charakter. Pro potvrzení byl proveden Shapiro-Wilkův test normality, jak je znázorněno na Obrázku 12.

#### Shapiro-wilk normality test

```
data: data$PSA
W = 0.77465, p-value = 6.019e-10
```

Obrázek 12: Shapiro-Wilkův test normality atributu "PSA hodnoty" (ng/ml). Zdroj: autor.

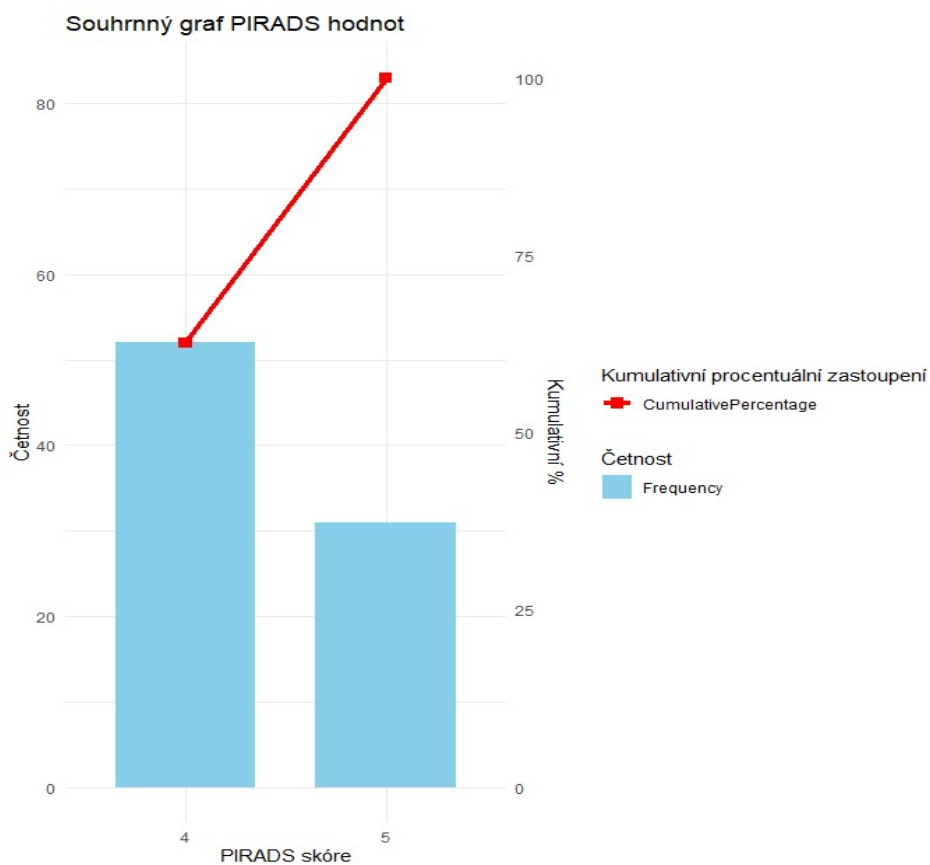
Na hladině významnosti 5 % ( $p = 0,05$ ) lze konstatovat, že data nemají normální rozložení. Tím byla zjištěna nenormální rozložení hodnot PSA v našem datasetu.

Posledním krokem popisné statistické analýzy dat bylo zkoumání atributu „PI-RADS skóre“. Pro účely této práce jsou zastoupeny skupiny PI-RADS 4 a 5. Vypočetly se četnosti zastoupení skupin, jejich procentuální zastoupení a kumulativní procentuální zastoupení (viz Obrázek 13). Jedná se o kvalitativní ordinální proměnnou.

PIRADS	Frequency	Percentage	CumulativeFrequency	CumulativePercentage
<int>	<int>	<dbl>	<int>	<dbl>
1	4	52	62.7	62.7
2	5	31	83	100

Obrázek 13: Popisná statistika kategoriálního atributu "PI-RADS skóre". Zdroj: autor.

Ve skupině PI-RADS 4 bylo celkem 52 měření s procentuálním zastoupením 62,7 %. Ve skupině PI-RADS 5 bylo celkem 31 záznamů s procentuálním zastoupením 37,3 %. Výsledky jsou vizualizované pomocí histogramu se znázorněným kumulativním procentuálním zastoupením (červeně) a sloupci četností v jednotlivých skupinách (modře) v Souhrnném grafu PI-RADS hodnot na Obrázku 14.



Obrázek 14: Souhrnný graf PI-RADS hodnot. Zdroj: autor.



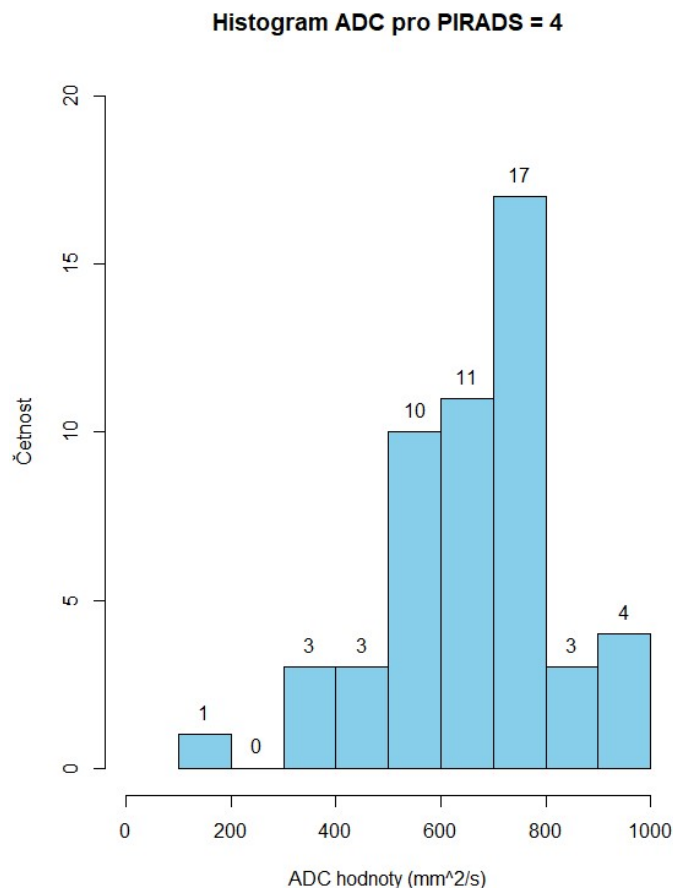
### 2.3.2 Analýza ADC a skupin PI-RADS skóre

#### Hypotéza:

H0: Neexistuje statisticky významná souvislost v hodnotách ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) a mezi PI-RADS skóre skupinami.

HA: Existuje statisticky významná souvislost v hodnotách ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) a PI-RADS skóre skupinami.

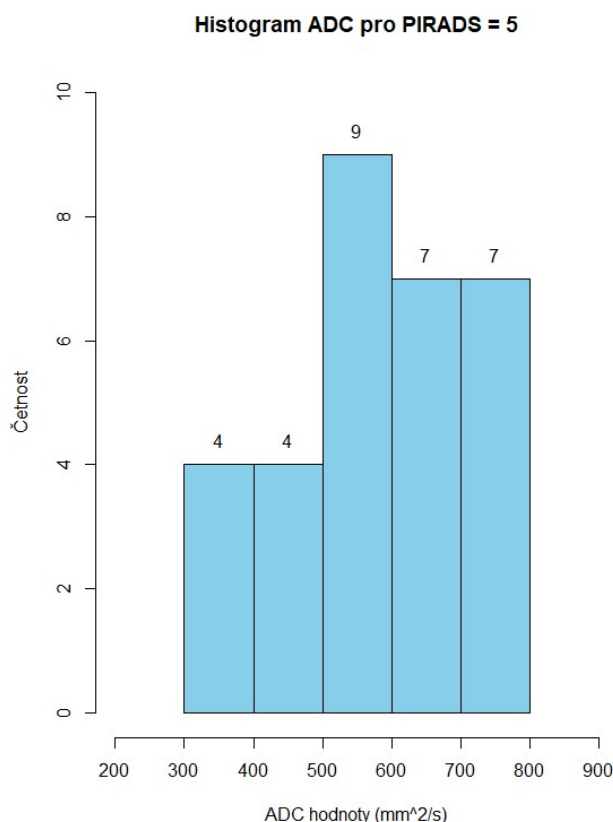
Výskyt hodnot ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) v rámci PI-RADS skupin 4 a 5 byl detailně analyzován a vizualizován pomocí histogramů. Na Obrázku 15 jsou zobrazeny frekvence hodnot ADC pro subjekty zařazené do PI-RADS skupiny 4, přičemž celkový počet subjektů byl 52. Na Obrázku 16 jsou zobrazeny frekvence hodnot ADC pro subjekty zařazené do PI-RADS skupiny 5, přičemž celkový počet subjektů byl 31.



Obrázek 15: Četnost zastoupení ADC hodnot ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) v rámci skupiny PI-RADS 4. Zdroj: autor.

Z histogramu na Obrázku 15 lze vyčíst, že nejčastěji se vyskytující hodnoty ADC byly u skupiny PI-RADS 4 v rozmezí od 700-800  $\text{mm}^2/\text{s}$ , což představuje dominantní kategorii se 17 subjekty. Dále byla zaznamenána významná frekvence hodnot v rozmezích

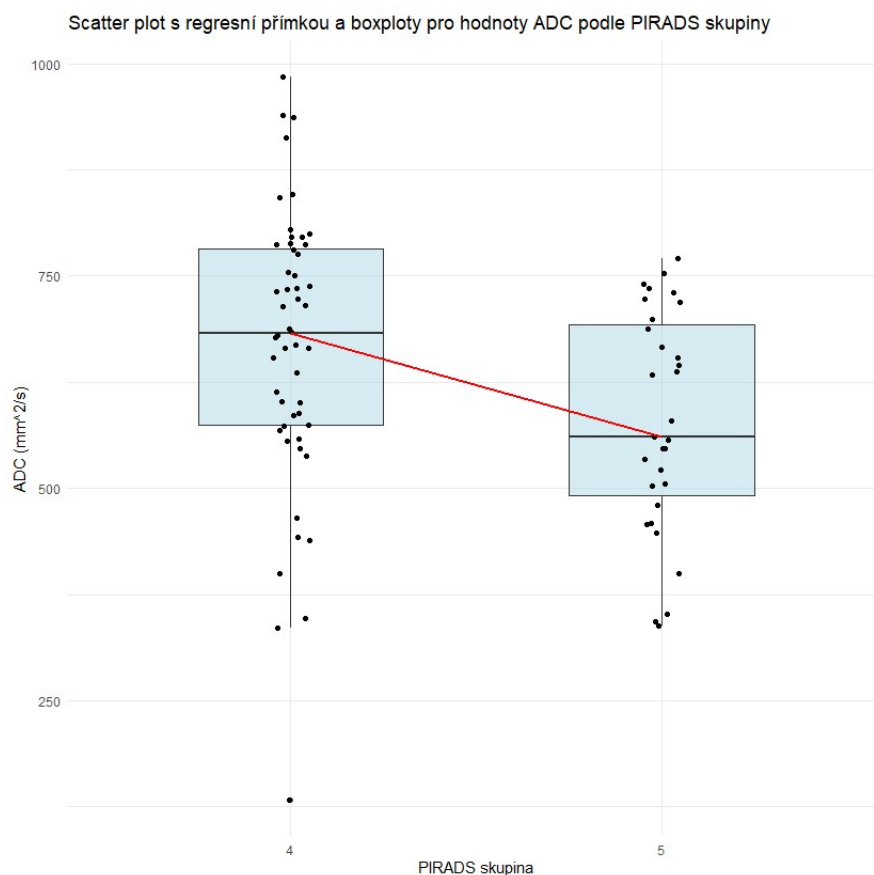
500-600 mm<sup>2</sup>/s a 600-700 mm<sup>2</sup>/s, kde bylo zastoupeno 10 a 11 subjektů. Zbýlých 14 subjektů se rozložilo mezi kategorie 100-200 mm<sup>2</sup>/s, 300-400 mm<sup>2</sup>/s, 400-500 mm<sup>2</sup>/s, 800-900 mm<sup>2</sup>/s a 900-1000 mm<sup>2</sup>/s, kde každá kategorie měla 1, 3, 3, 3 a 4 subjekty.



*Obrázek 16: Četnost zastoupení ADC hodnot (mm<sup>2</sup>/s) v rámci skupiny PI-RADS 5. Zdroj: autor.*

Z histogramu na Obrázku 16 lze vyčíst, že nejčastěji se vyskytující hodnoty ADC byly u skupiny PI-RADS 5 v rozmezí od 500-600 mm<sup>2</sup>/s, což představuje dominantní kategorii s 9 subjekty. Dále byla zaznamenána významná frekvence hodnot v rozmezích 600-700 mm<sup>2</sup>/s a 700-800 mm<sup>2</sup>/s, kde bylo zastoupeno u každé 7 subjektů. Zbýlých 8 subjektů se rovnoměrně rozložilo mezi kategorie 300-400 mm<sup>2</sup>/s a 400-500 mm<sup>2</sup>/s každá po 4 subjektech.

Následující graf na Obrázku 17 zobrazuje distribuci hodnot ADC v souvislosti na PIRADS skupině. Každý boxplot reprezentuje rozdělení hodnot ADC v jedné PIRADS skupině (pro skupinu PI-RADS 4 vlevo, pro skupinu PI-RADS 5 vpravo), kde červená linie označuje medián. Jednotlivé body na grafu představují konkrétní hodnoty ADC. Tato vizualizace umožňuje porovnání centrální tendence a variability hodnot ADC mezi PIRADS skupinami.



Obrázek 18: Vztah mezi hodnotami ADC (mm<sup>2</sup>/s) dle skupiny PI-RADS skóre. Zdroj: autor.

Statistický souhrn distribuce ADC hodnot (mm<sup>2</sup>/s) dle PI-RADS skóre, které jsou znázorněny na Obrázku 17 pomocí boxplotů, byly získány funkcí summary() a jsou vyznačeny na Obrázku 18.

```
> summary(adc_pirads_4)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 133.0  574.5  682.0   666.5  782.5   984.0
> summary(adc_pirads_5)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 338.0  491.5  561.0   578.2  693.0   770.0
```

Obrázek 17: Statistický souhrn distribuce ADC hodnot (mm<sup>2</sup>/s) dle skupiny PI-RADS skóre. Zdroj: autor.

Medián boxplotu pro PI-RADS skupinu 4 odpovídá hodnotě 682,0 mm<sup>2</sup>/s, průměr je roven 666,5 mm<sup>2</sup>/s. Minimální hodnota je odpovídá 133,0 mm<sup>2</sup>/s. První a druhý kvartil mají rozmezí na hodnotě 574,5 mm<sup>2</sup>/s, třetí a čtvrtý kvartil mají rozmezí 782,5 mm<sup>2</sup>/s. Mezikvartilové rozpětí je 208,0 mm<sup>2</sup>/s. Maximální hodnota je 984 mm<sup>2</sup>/s.

Medián boxplotu pro PI-RADS skupinu 5 odpovídá hodnotě 561,0 mm<sup>2</sup>/s, průměr je roven 578,2 mm<sup>2</sup>/s. Minimální hodnota je odpovídá 338,0 mm<sup>2</sup>/s. První a druhý kvartil mají rozmezí na hodnotě 491,5 mm<sup>2</sup>/s, třetí a čtvrtý kvartil mají rozmezí 693,0 mm<sup>2</sup>/s. Mezikvartilové rozpětí je 201,5 mm<sup>2</sup>/s. Maximální hodnota je 770,0 mm<sup>2</sup>/s.

Jedná se o testování kvalitativní ordinální proměnné PI-RADS skóre (hodnoty 4 a 5) a kvantitativní spojitá proměnná ADC s normálním rozdělením. Pro testování hypotéz byl použit dvouvýběrový T-test. K aplikaci tohoto testu bylo nutné provést F-test na rovnost rozptylů (viz Obrázek 19).

```
F test to compare two variances

data:  ADC mean by PIRADS
F = 1.6011, num df = 51, denom df = 30, p-value = 0.1692
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.8148909 2.9779553
sample estimates:
ratio of variances
      1.601096
```

Obrázek 19: F-test na rovnost rozptylů. Zdroj: autor.

Z výsledků testu vyplývá p-hodnota rovna 0,1692. Na hladině významnosti 0,05 lze přijmout nulovou hypotézu považovat rozptyly za rovné.

Dále se provedl Dvouvýběrový T-test s rovností rozptylu (viz Obrázek 20).

```
Two Sample t-test

data:  ADC mean by PIRADS
t = 2.5559, df = 81, p-value = 0.01246
alternative hypothesis: true difference in means between group 4 and group 5 is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 19.5465 156.9250
sample estimates:
mean in group 4 mean in group 5
 666.4615      578.2258
```

Obrázek 20: Dvouvýběrový T-test. Zdroj: autor.

Na Obrázku 20 jsou výsledky Dvouvýběrového T-testu pro atributy ADC a PI-RADS skóre. Z výsledků testu vyplývá, že p-hodnota je rovna 0,01246.

Na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$  (0,05) je  $\alpha$  větší než p-hodnota, a proto lze zamítnout  $H_0$ .

**Na hladině významnosti 5 % existuje statisticky významná souvislost mezi hodnotami ADC a skupinami PI-RADS.**

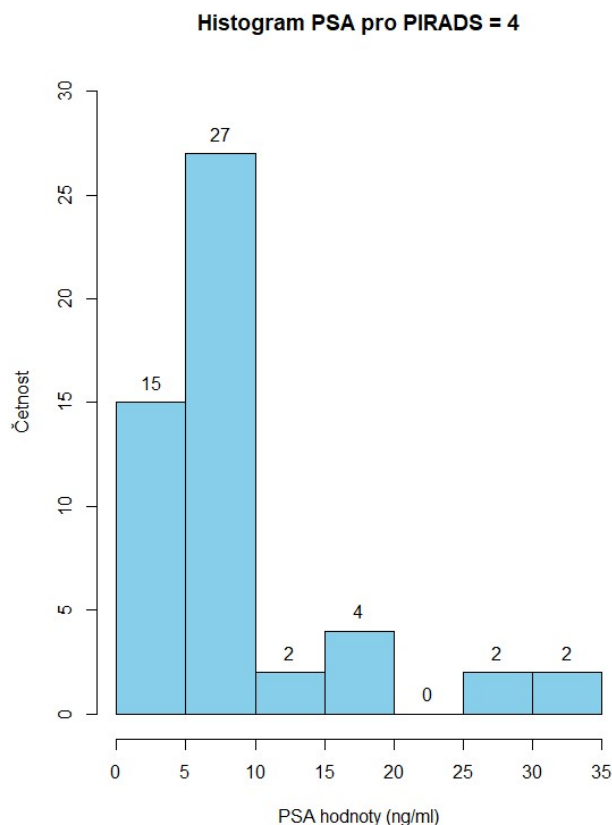
### 2.3.3 Analýza PSA a PI-RADS skóre

#### Hypotéza:

H0: Neexistuje statisticky významná souvislost v hodnotách PSA (ng/ml) a mezi PI-RADS skóre skupinami.

HA: Existuje statisticky významná souvislost mezi hodnotami PSA (ng/ml) a mezi PI-RADS skóre skupinami.

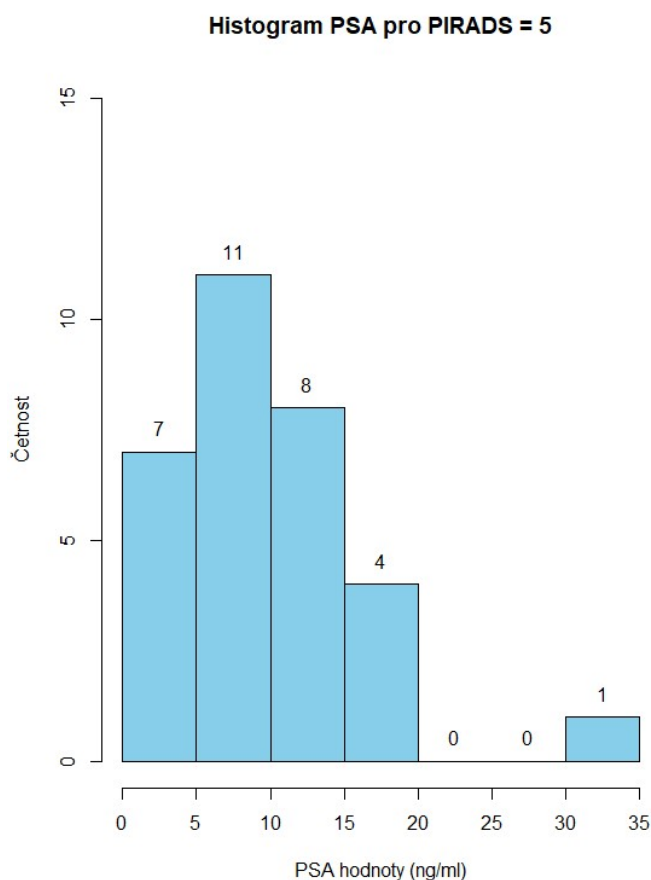
Výskyt hodnot PSA (ng/ml) v rámci PI-RADS skupiny 4 a 5 byl detailně analyzován a vizualizován pomocí histogramů. Na Obrázku 21 jsou zobrazeny frekvence hodnot PSA pro subjekty zařazené do PI-RADS skupiny 4, přičemž celkový počet subjektů byl 52. Na Obrázku 22 jsou zobrazeny frekvence hodnot PSA pro subjekty zařazené do PI-RADS skupiny 5, přičemž celkový počet subjektů byl 31.



Obrázek 21: Četnost zastoupení PSA hodnot (ng/ml) v rámci skupiny PI-RADS 4.  
Zdroj: autor.

Z histogramu na Obrázku 21 lze vyčíst, že nejčastěji se vyskytující hodnoty PSA pro skupinu PI-RADS 4 byly v rozmezí od 5-10 ng/ml, což představuje dominantní kategorii se 27 subjekty. Dále byla zaznamenána významná frekvence hodnot v rozmezí 0-5 ng/ml, kde bylo zastoupeno

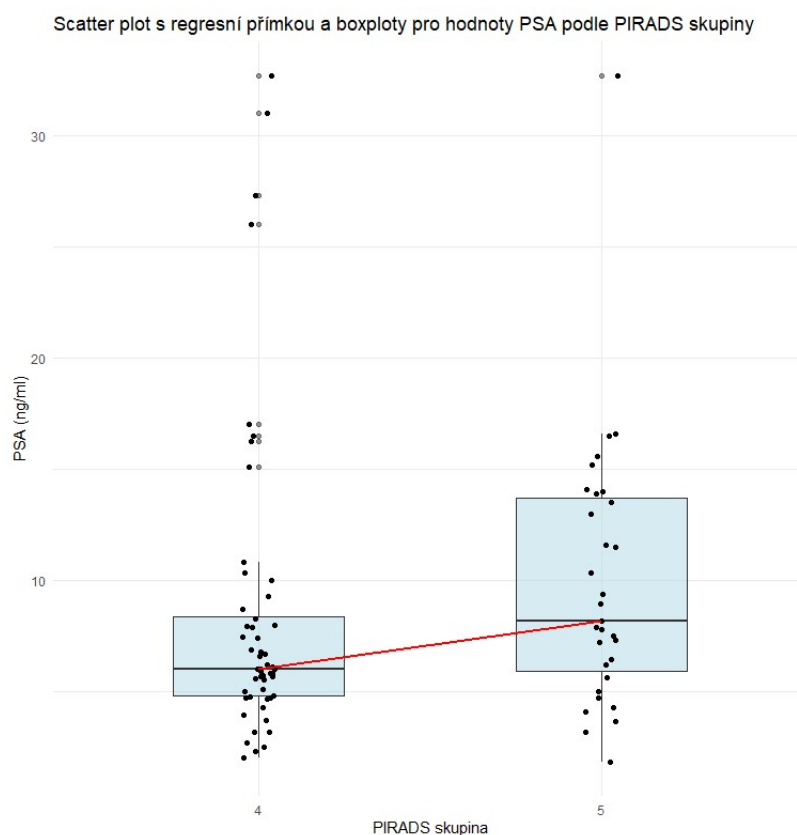
15 subjektů. Zbylých 10 subjektů se rozložilo mezi kategorie 15-20 ng/ml, 10-15 ng/ml, 25-30 ng/ml a 30-35 ng/ml, kde každá kategorie měla 4, 2, 2 a 2 subjekty.



Obrázek 22: Četnost zastoupení PSA hodnot (ng/ml) v rámci skupiny PI-RADS 5.  
Zdroj: autor.

Z histogramu na Obrázku 22 lze vyčíst, že nejčastěji se vyskytující hodnoty PSA pro skupinu PI-RADS 5 byly v rozmezí od 5-10 ng/ml, což představuje dominantní kategorii s 11 subjekty. Dále byla zaznamenány dvě významné frekvence hodnot v rozmezí 0-5 ng/ml a 10-15 ng/ml, kde bylo zastoupeno 7 a 8 subjektů. Zbylých 5 subjektů se rozložilo mezi kategorie 15-20 ng/ml a 30-35 ng/ml, kde kategorie měly po 4 a 1 subjektů.

Následující graf na Obrázku 23 zobrazuje distribuci hodnot PSA v souvislosti na PIRADS skupině. Každý boxplot reprezentuje rozdělení hodnot PSA v jedné PIRADS skupině (pro skupinu PI-RADS 4 vlevo, pro skupinu PI-RADS 5 vpravo), kde červená linie označuje medián. Jednotlivé body na grafu představují konkrétní hodnoty PSA. Tato vizualizace umožňuje porovnání centrální tendence a variability hodnot PSA mezi PIRADS skupinami.



Obrázek 23: Boxplot hodnot PSA (ng/ml) dle skupin PI-RADS skóre. Zdroj: autor.

Statistický souhrn distribuce PSA hodnot (ng/ml) dle PI-RADS skóre, které jsou znázorněny na Obrázku 23 pomocí boxplotů, byly získány funkcí `summary()` a jsou vyznačeny na Obrázku 24.

```
> summary(psa_pirads_4)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  2.006  4.793  6.011  8.507  8.363  32.660
> summary(psa_pirads_5)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  1.840  5.926  8.190  9.926  13.695  32.660
```

Obrázek 24: Statistický souhrn distribuce PSA hodnot (ng/ml) dle skupiny PI-RADS skóre. Zdroj: autor.

Medián boxplotu pro PI-RADS skupinu 4 odpovídá hodnotě 6 ng/ml, průměr je 8,5 ng/ml. Minimální hodnota je odpovídá 2 ng/ml. První a druhý kvartil mají rozmezí na hodnotě 4,793 ng/ml, třetí a čtvrtý kvartil mají rozmezí 8,363 ng/ml. Mezikvartilové rozpětí je 3,57 ng/ml. Maximální hodnota je 32,66 ng/ml.

Medián boxplotu pro PI-RADS skupinu 5 odpovídá hodnotě 8,19 ng/ml, průměr je 9,9 ng/ml. Minimální hodnota je odpovídá 1,84 ng/ml. První a druhý kvartil mají rozmezí na

hodnotě 5,926 ng/ml, třetí a čtvrtý kvartil mají rozmezí 13,695 ng/ml. Mezikvartilové rozpětí je 7,77 ng/ml. Maximální hodnota je 32,66 ng/ml.

Jedná se o testování kvalitativní ordinální proměnné PI-RADS skóre (hodnoty 4 a 5) a kvantitativní spojitá proměnná PSA nenormálního rozdělení. Pro testování hypotéz byl využit neparametrický Wilcoxonův test pro dva nesouvislé vzorky (viz Obrázek 25). Nejdříve bylo rozdělit hodnoty psa do skupin psa\_pirads\_4 pro hodnoty PI-RADS skóre 4 a psa\_pirads\_5 pro hodnoty PI-RADS skóre 5.

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction  
  
data:  psa_pirads_4 and psa_pirads_5  
w = 606.5, p-value = 0.06101  
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

*Obrázek 25: Wilcoxonův sumační test pro dva nesouvislé vzorky. Zdroj: autor.*

Na Obrázku 25 jsou vyznačeny výsledky Wilcoxonova neparametrického testu pro dva nesouvislé vzorky. Výsledná p-hodnota testu je 0,06101.

Na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$  (0,05) je  $\alpha$  menší než p-hodnota, a proto nelze zamítnout  $H_0$ .

**Na hladině významnosti 5 % neexistuje statisticky významná souvislost v hodnotách PSA a mezi PI-RADS skóre skupinami.**



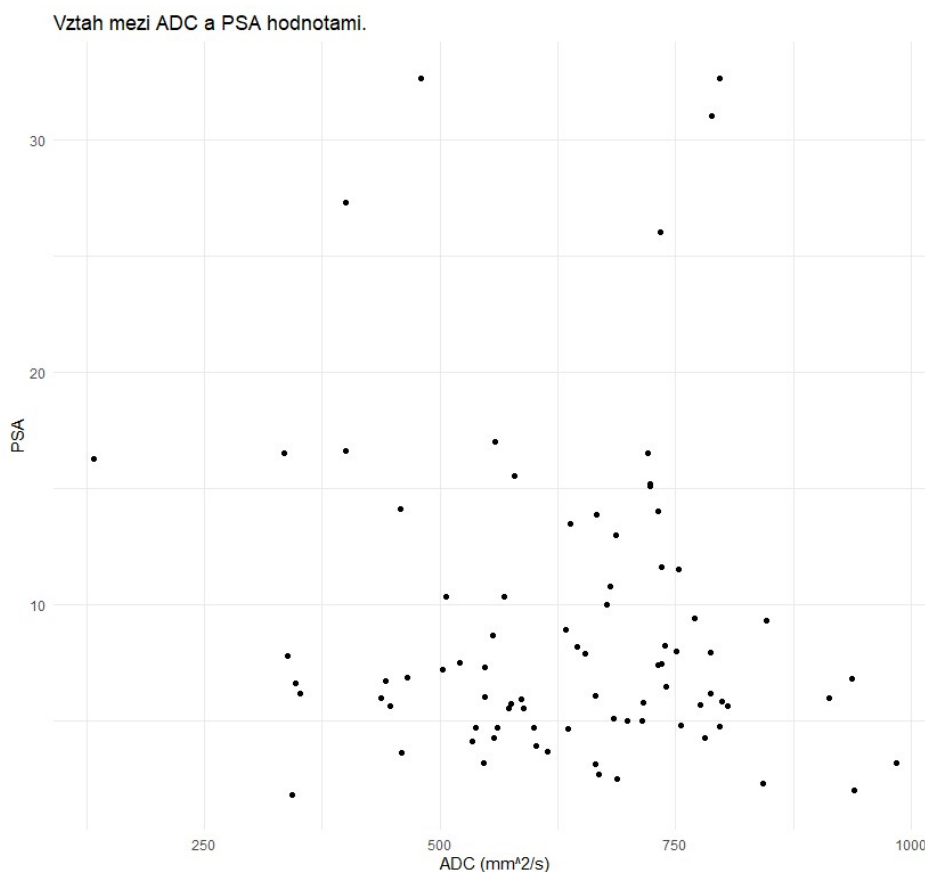
### 2.3.4 Analýza vlivu PSA a ADC

#### Hypotéza:

H<sub>0</sub>: Neexistuje statisticky významná korelace mezi hodnotami ADC (mm<sup>2</sup>/s) a hodnotami PSA (ng/ml).

H<sub>A</sub>: Existuje statisticky významná korelace mezi hodnotami ADC (mm<sup>2</sup>/s) a hodnotami PSA (ng/ml).

Vizualizace vztahu mezi hodnotami ADC (mm<sup>2</sup>/s) a hodnotami PSA (ng/ml) pomocí bodového grafu je na Obrázku 26.



Obrázek 26: Bodový graf vztahu hodnot ADC (mm<sup>2</sup>/s) a PSA (ng/ml). Zdroj: autor.

Jedná se o testování dvou kvantitativních spojitých proměnných, kde obě skupiny mají normální rozložení. Pro testování byl použit Spearmanův korelační test (viz Obrázek 27).

```

spearman's rank correlation rho

data: data$ADC and data$PSA
S = 101530, p-value = 0.556
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
-0.06555097

```

*Obrázek 27: Spearmanův korelační test atributů ADC a PSA. Zdroj: autor.*

Výsledky Spearmanova korelačního testu pro posouzení vztahu mezi hodnotami ADC a PSA na Obrázku 27 udávají p-hodnotu = 0,556. P-hodnota převyšuje hladinu významnosti  $\alpha = 5\%$  (0,05). Na hladině významnosti 5% nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu. Odhadovaný korelační koeficient vyšel -0,06555097, který vykazuje velmi slabou negativní korelaci mezi proměnnými. Výsledek této analýzy ukazuje, že nedokážeme statisticky prokázat signifikantní korelaci mezi hodnotami ADC a PSA.

**Na hladině významnosti 5% neexistuje statisticky významná korelace mezi hodnotami ADC a hodnotami PSA.**

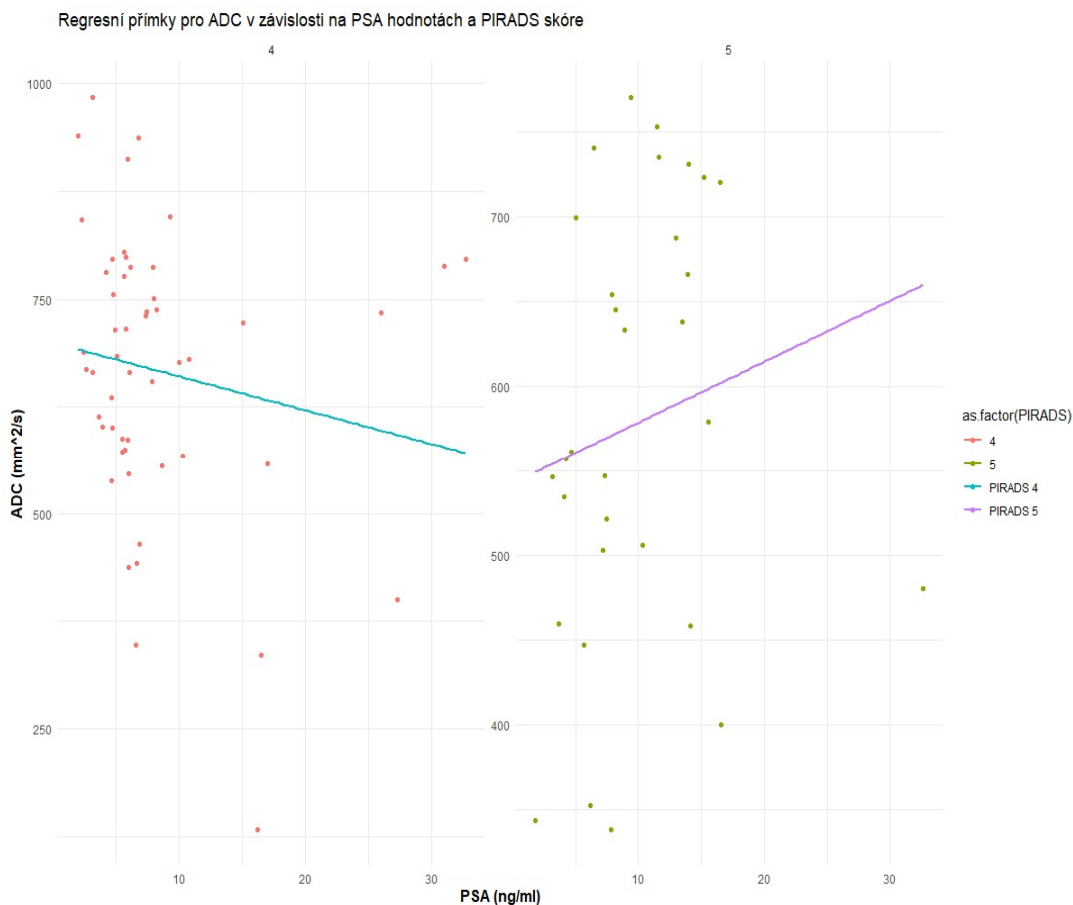
### **2.3.5 Analýza vlivu ADC hodnot na hodnoty PSA a PI-RADS skupin.**

#### **Hypotéza:**

H<sub>0</sub>: Neexistuje statisticky významný lineární vztah mezi hodnotami PSA a hodnotami ADC pro obě PIRADS skupiny (4 a 5).

H<sub>A</sub>: Existuje statisticky významný lineární vztah mezi hodnotami PSA a hodnotami ADC pro alespoň jednu z PIRADS skupin (4 nebo 5).

Byla provedena regresní analýza pro hodnoty ADC v souvislosti na PSA hodnotách a PI-RADS skóre. Na grafu na Obrázku 28 jsou prezentovány přímky pro skupinu PI-RADS 4 (světle modrou barvou vlevo) a pro skupinu PI-RADS 5 (fialovou barvou vpravo)



Obrázek 28: Regresní přímky pro ADC v souvislosti na PSA hodnotách (ng/ml) a skupin PIRADS skóre.  
Zdroj: autor.

Pro interpretaci výsledků z regresní analýzy jsme použili funkci „summary()“ na Obrázcích 29 a 30. Funkce summary() v R slouží k poskytnutí přehledných statistických informací o výsledcích regresní analýzy provedené na lineárním modelu. V případě lineární regrese poskytuje tato funkce klíčové informace, které jsou důležité pro interpretaci modelu.

```

Call:
lm(formula = ADC ~ PSA, data = data[data$PIRADS == 4, ])

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-502.94  -90.79   10.27  112.27  296.58

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  699.988    35.955   19.47  <2e-16 ***
PSA          -3.941     3.283   -1.20   0.236
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 163.3 on 50 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.02801, Adjusted R-squared:  0.008568
F-statistic: 1.441 on 1 and 50 DF, p-value: 0.2357

```

Obrázek 29: Přehledné informace o modelu pro regresní analýzu hodnot ADC a PSA skupiny PI-RADS 4.  
Zdroj: autor.

Na Obrázku 29 je model pro skupinu PI-RADS 4:

- Odhadovaný intercept: Intercept má odhadovanou hodnotu 699.988 s nízkou standardní chybou 35.955. Tento intercept je statisticky významný ( $p < 2e^{-16}$ ), což značí, že hodnota ADC je odlišná od nuly, když hodnota PSA je nula.
- Odhadovaný koeficient pro PSA: Koeficient pro PSA je -3.941 se standardní chybou 3.283. Koeficient pro PSA není statisticky významný ( $p = 0.236$ ), což naznačuje, že hodnota PSA není statisticky významně spojena s hodnotami ADC u pacientů s PIRADS 4.
- Multiple R-squared: Model má velmi nízký Multiple R-squared (0.02801), což značí, že pouze 2.801 % variability v hodnotách ADC může být vysvětleno hodnotami PSA u pacientů s PIRADS 4.—

Celkově tyto výsledky naznačují, že hodnoty PSA nemají silný vliv na hodnoty ADC u pacientů s PI-RADS 4, jak ukazují nevýznamné koeficienty pro PSA.

```

Call:
lm(formula = ADC ~ věk, data = data[data$PIRADS == 5, ])

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-256.83  -90.31   -9.16   102.71  194.54

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  651.745    210.503    3.096  0.00432 **
věk          -1.060     3.015   -0.351  0.72777
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 131.5 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.004242, Adjusted R-squared:  -0.03009
F-statistic: 0.1235 on 1 and 29 DF,  p-value: 0.7278

```

Obrázek 30: Přehledné informace o modelu pro regresní analýzu hodnot ADC a PSA skupiny PI-RADS 5. Zdroj: autor.

Na Obrázku 30 je model pro skupinu PI-RADS 5:

- Odhadovaný intercept: Intercept má odhadovanou hodnotu 542.623 se standardní chybou 45.568. Tento intercept je statisticky významný ( $p < 1.09e^{-12}$ ), což značí, že hodnota ADC je odlišná od nuly, když hodnota PSA je nula.
- Odhadovaný koeficient pro PSA: Koeficient pro PSA je 3.587 se standardní chybou 3.943. Koeficient pro PSA není statisticky významný ( $p = 0.37$ ), což naznačuje, že hodnota PSA není statisticky významně spojena s hodnotami ADC u pacientů s PIRADS 5.
- Multiple R-squared: Model má velmi nízký Multiple R-squared (0.02774), což značí, že pouze 2.774 % variability v hodnotách ADC může být vysvětleno hodnotami PSA u pacientů s PIRADS 5.

Celkově tyto výsledky naznačují, že hodnoty PSA nemají silný vliv na hodnoty ADC u pacientů s PI-RADS 5, jak ukazují nevýznamné koeficienty pro PSA.

**Na hladině významnosti 5 % neexistuje statisticky významný lineární vztah mezi hodnotami PSA a hodnotami ADC pro PIRADS 4 ani PIRADS 5.**

## 2.4 Diskuze

Předmětem této diplomové práce byla analýza ADC hodnot ze souboru pacientů vyšetřených na Klinice radiologie a nukleární medicíny FN Královské Vinohrady v Praze za období leden až prosinec 2022 na MR vyšetření prostaty. Z nemocničního informačního systému byli vybráni ti pacienti, kteří spadali do skupiny dle PI-RADS v2.1 skóre 4 nebo 5. V analýze se zabývalo vztahy mezi hodnotami ADC z vyšetření a skupinou PI-RADS skóre, dále jsme zkoumali vztahy v souvislosti na hodnot PSA pacientů. Ve výzkumné části bylo celkem zahrnuto 83 pacientů. Medián věku pacientů byl 68 let (směrodatná odchylka = 7,48), medián hodnot ADC byl 654 mm<sup>2</sup>/s (směrodatná odchylka 157,19 mm<sup>2</sup>/s), medián hodnot PSA byl 6,8 ng/ml (směrodatná odchylka 6,62 ng/ml). Zastoupení počtu v rámci jednotlivých skupin tvořilo 52 měření (63 %) ve skupině PI-RADS skóre 4 a 31 měření (37 %) ve skupině PI-RADS skóre 5.

Důležitost identifikace efektivních biomarkerů pro přesnou diagnostiku a cílenou léčbu vytyčují data Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR (ÚZIS ČR, 2024), která uvádí karcinom prostaty jako druhý nejčastější onkologické onemocnění u mužů v ČR. V roce 2021 bylo celkem vedeno v Národním onkologickém registru 7 751 mužů v České republice se zhoubným nádorem prostaty. Incidence onemocnění (tedy počet nově zjištěných onemocnění) v přepočtu na 100 000 obyvatel je 150 mužů. Medián věku pacientů je 69 let, 1. až 3. kvartil mají rozpětí 63-74 let. Což řadí Českou republiku na 8. místo ve srovnání evropských zemí. Mortalita onemocnění (tedy počet úmrtí na dané onemocnění) v České republice je 1 427 mužů k roku 2021, v přepočtu na 100 000 obyvatel to tvoří 27,6 mužů. Ve srovnání s evropskými zeměmi je Česká republika na 25. místě. Tato diskrepance mezi vysokou incidencí a relativně nízkou mortalitou svědčí o efektivnosti diagnostických a terapeutických postupů uplatňovaných v naší zemi. Vysoká úroveň diagnostiky umožňuje včasné odhalení onemocnění, což společně s pokročilými léčebnými metodami vede k lepším výsledkům léčby a zvyšuje přežívání pacientů s rakovinou prostaty. Prevalence onemocnění karcinomu prostaty (tedy počet žijících osob, které mají dané onemocnění nebo ho měly v minulosti) je 74 733 a na 100 000 obyvatel to tvoří 1 444,4 mužů. Vývoj incidence i prevalence v posledních letech strmě stoupá. K roku 1990 byla incidence onemocnění na 100 000 obyvatel 16,7 mužů, v roce 2000 vzrostla na 57,7 mužů a v roce 2010 dosáhla hodnoty 134,8 mužů na 100 000 obyvatel. Potřeba porozumění biomarkerům pro správnou diagnostiku a léčbu karcinomu prostaty se stává ještě naléhavější vzhledem k prudkému nárůstu

incidence a prevalence této nemoci v posledních desetiletích. Právě z těchto důvodů se tato diplomová práce zaměřuje na odhalení a validaci takových ukazatelů, které by mohly vést k lepšímu prognostickému a diagnostickému rozlišení maligních onemocnění prostaty.

Jako první jsme analyzovali vztahy mezi ADC hodnotami a PI-RADS skóre. Z výsledků této práce vyplynulo, že na hladině významnosti 5 % existuje statisticky významná souvislost v hodnotách ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) a PI-RADS skóre skupinami. Využili jsme histogramy a boxploty k vizualizaci distribuce hodnot ADC v jednotlivých skupinách. Převládající hodnoty se lišily mezi oběma skupinami. Nejčastěji vyskytující se hodnoty pro PI-RADS 4 byly v rozmezí 700-800  $\text{mm}^2/\text{s}$ , medián souboru byl roven 682  $\text{mm}^2/\text{s}$ , průměr 666,5  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Pro skupinu PI-RADS 5 byly nejčastěji zastoupené hodnoty v rozmezí 500-600  $\text{mm}^2/\text{s}$ , medián souboru byl roven 561  $\text{mm}^2/\text{s}$ , průměr 578,2  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Dvouvýběrový T-test, předcházený F-testem na rovnost rozptylů, odhalil statisticky významnou souvislost mezi hodnotami ADC a PI-RADS skóre (p-hodnota = 0,01246), což nám umožnilo zamítnout nulovou hypotézu na 5% hladině významnosti. Tím jsme potvrdili existující statisticky významnou souvislost mezi hodnotami ADC a skupinami PI-RADS pro náš dataset.

PI-RADS skóre je založeno na vizuální interpretaci obrazů z magnetické rezonance, zatímco hodnoty ADC jsou měřeny kvantitativně. Rozdílné hodnoty mezi skupinami PI-RADS 4 a 5 by mohly odrážet rozdíly v histopatologických charakteristikách nádorů prostaty, které se projevují jako různé hodnoty ADC. Dalším možným důvodem v rozdílnosti skupin PI-RADS 4 a 5 může být odlišná biologická povaha nádorů prostaty, která se projevuje různými hodnotami ADC. PI-RADS skóre se zaměřuje na charakteristiky zobrazené na MR, jako jsou tvar, rozložení a intenzita signálu, zatímco hodnoty ADC přinášejí kvantitativní informace o difúzních vlastnostech tkání. Různé typy nádorů prostaty mohou vykazovat odlišné biologické chování, které se může projevit jako rozdíly v jejich buněčné hustotě, proliferaci, vaskularizaci nebo množství extracelulární tekutiny. Nádory s vyšší buněčnou hustotou nebo menším množstvím extracelulární tekutiny mohou vykazovat nižší hodnoty ADC kvůli větší omezenosti difúze vody.

Podobným tématem se zabývá zahraniční studie Lucarelli et al. (2023) s názvem „Quantitative ADC: An Additional Tool in the Evaluation of Prostate Cancer?“ (Lucarelli et al., 2023, s. 1-17). Studie se zabývá využitím kvantitativních hodnot ADC jako dodatečného nástroje při hodnocení rakoviny prostaty. Zkoumá, jak mohou být hodnoty ADC využity k diferenciaci mezi benigními a maligními lézemi prostaty a zdůrazňuje potenciál ADC k posílení diagnostické přesnosti v kombinaci s PI-RADS skóre v multiparametrickém

MR vyšetření prostaty. Kvantitativní retrospektivní výzkum prováděný na Policlinico of Bari za období květen 2019 až září 2022 zahrnoval 143 pacientů se 154 podezřelými lézemi na obrazech MR a ty byly následně porovnány s bioptickými výsledky. Studie se zabývala skupinami PI-RADS skóre 3, 4 a 5. Ve skupině PI-RADS 3 bylo zahrnuto 34 lézí, ve skupině PI-RADS 4 bylo zahrnuto 86 lézí a ve skupině PI-RADS 5 bylo zahrnuto 34 lézí. Výsledky studie prokázaly statisticky významnou korelaci mezi hodnotami ADC a hodnotami PI-RADS skóre. Hodnoty ADC mohou pomoci klinicky odlišit významné léze rakoviny prostaty od méně významných a negativních lézí. Zvláště nízké hodnoty byly pozorovány u agresivnějších nádorů. Tato studie zdůrazňuje potenciál kvantitativní analýzy ADC jako užitečného nástroje pro posouzení agresivity rakoviny prostaty a umožňuje zlepšení managementu léčby této nemoci. V tomto tvrzení se tato diplomová práce shoduje s danou studií. V této práci byl dokázán statisticky významný rozdíl v hodnotách ADC u jednotlivých skupin PI-RADS skóre. Dále studie Lucarelli et al. (2023) uvedla rozmezí středních hodnot ADC pro jednotlivé skupiny, kde pro PI-RADS skóre 4 byla ADC hodnota v průměru  $0,76 (\pm 0,18) \text{ m}^2/\text{s}$  a pro skupiny PI-RADS skóre 5 byly hodnoty  $0,63 (\pm 0,18) \text{ m}^2/\text{s}$ . Zde se konkrétní průměrné hodnoty dosažené ve studii s touto diplomovou prací mírně rozcházejí. Pro PI-RADS skóre 4 byly hodnoty ADC vyšší (nejčastěji zastoupené hodnoty byly v rozmezí  $700\text{-}800 \text{ mm}^2/\text{s}$ , průměr  $666,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) oproti hodnotám pro PI-RADS skóre 5 (nejčastěji zastoupené hodnoty byly v rozmezí  $500\text{-}600 \text{ mm}^2/\text{s}$ , průměr  $578,2 \text{ mm}^2/\text{s}$ ). Avšak jsou-li průměrné hodnoty odlišné, nejčastěji zastoupené hodnoty jsou v rozmezí, kterých dosáhla i studie. Rozdíly ve středních hodnotách ADC mezi touto diplomovou prací a studií Lucarelli et al. (2023) mohou být způsobeny několika faktory: náš vzorek pacientů zahrnoval méně měření (83), zásadní vliv může hrát demografická charakteristika vybraného vzorku a možné odlehle hodnoty ve výzkumném souboru mohou způsobit zkreslení výsledných hodnot. Přesnost a konzistence při výběru oblastí zájmu pro měření ADC hodnot mají zásadní význam. Rozdíly ve velikosti a umístění ROI mohou ovlivnit měření ADC, zvláště pokud jsou zahrnuty oblasti s vysokou nebo nízkou buněčnou hustotou.

Další odborná zahraniční studie, která zkoumala vliv ADC hodnot dle skupin PI-RADS skóre byla studie Gaur et al. (2018) s názvem „Can Apparent Diffusion Coefficient Values Assist PI-RADS Version 2 DWI Scoring? A Correlation Study Using the PI-RADSV2 and International Society of Urological Pathology Systems“. (Gaur et al., 2018, s. 1-12) Práce zkoumala korelaci mezi hodnotami ADC a normalizovanými hodnotami ADC se skupinami PI-RADS skóre. Kvantitativní retrospektivní analýza prováděna na University



of California, San Diego, v lékařském centru, za období květen 2012 až červen 2015 zahrnovala 100 pacientů s celkem 172 lézemi. Cílem práce bylo nalezení optimálního využití metriky ADC pro objektivní pomoc při kategorizaci lézí dle PI-RADS skóre. Výsledky studie ukázaly spolehlivost ADC hodnoty 87 % a 82 % pro předpověď expertem hodnocené kategorie PI-RADS 4 nebo 5. Studie rovněž došla k závěru, že metriky ADC mohou být použity k rozlišení skupin PI-RADS 1 až 3 od skupin 4 a 5 s mírnou užitečností pro hodnotitele. Tato diplomová práce se studií shoduje v korelaci nižších hodnot ADC pro skupiny PI-RADS skóre 4 a 5.

Vztah mezi ADC a hodnotami PI-RADS skóre zkoumala i zahraniční studie Singh et al, 2018, s názvem „PI-RADS v2 in Prostate Cancer and Correlation with T Staging, PSA Levels and ADC Values“ (Singh et al, 2018, s. 1-7). Studie se zabývala hodnocením role multiparametrické MR založené na systému PI-RADS pro posouzení rakoviny prostaty v periferní zóně a jeho korelaci s T-stadiem, hladinami PSA a hodnotami ADC. Retrospektivní kvantitativní studie uskutečněná v Department of MRI and Diagnostic Centre v Indii zahrnovala celkem 87 pacientů. Pacienti s hodnocením PI-RADS skóre  $\geq 2$  absolvovali biopsii a histopatologické výsledky byly použity jako „zlatý standard“. Výsledky ukázaly významnou korelaci mezi skóre PI-RADS v2, T-stadiem, hodnotami ADC a hladinami s PSA, s p hodnotou  $<0,005$ . Byla zjištěna výrazná korelace mezi skóre PI-RADS v2 a hodnotami ADC, přičemž s rostoucím skórem PI-RADS v2 hodnoty ADC klesaly. Výsledky ukázaly, že průměrné hodnoty ADC v rozmezí 0,3-0,6 mm<sup>2</sup>/s mělo celkem 54 pacientů, z čehož 36 pacientů bylo ve skupině PI-RADS skóre 5, 12 pacientů ve skupině PI-RADS skóre 4 a 6 pacientů bylo ve skupině PI-RADS skóre 3. Průměrné hodnoty ADC v rozmezí 0,6-0,9 mm<sup>2</sup>/s mělo celkem 29 pacientů, z čehož 1 pacient byl ve skupině PI-RADS skóre 5, 11 pacientů bylo ve skupině PI-RADS skóre 4 a 17 pacientů ve skupině PI-RADS skóre 3 nebo nižší. Zbylá 4 měření mělo průměrnou hodnotu ADC vyšší než 0,9 mm<sup>2</sup>/s, kde jedno měření bylo zastoupeno ve skupině PI-RADS skóre 5 a 3 měření byla ve skupině PI-RADS skóre 3 nebo nižší. To naznačuje, že nižší hodnoty ADC jsou spojeny s vyššími skóre PI-RADS, což odpovídá vyšší pravděpodobnosti přítomnosti klinicky významné rakoviny prostaty. Naše práce dosáhla srovnatelných výsledků se studií Singha et al. (2018). Tato studie potvrdila klíčovou roli multiparametrického zobrazování MR a systémů PI-RADS v diagnostice karcinomu prostaty. Obě práce došly ke statisticky významné existenci korelace mezi hodnotami ADC a skóre PI-RADS, přičemž nižší hodnoty ADC byly spojeny s vyšším skóre PI-RADS.

Tento závěr podporuje použití multiparametrického zobrazování MR jako důležitého nástroje pro hodnocení agresivity nádoru prostaty a pomáhá lékařům v procesu rozhodování o optimálních možnostech léčby pro pacienty.

Další studie zabývající se vztahem ADC hodnot a PI-RADS skóre je studie Jordan E. et al, 2018, „PI-RADS v2 and ADC values: is there room for improvement?“ (Jordan et al, 2018, s. 3109-3116). Studie se zaměřila na hodnocení diagnostického přínosu hodnot ADC ve vztahu k PI-RADS skóre pro diagnostiku klinicky významného karcinomu prostaty. Výzkum prováděný na Department of Radiology & Biomedical Imaging, University of California San Francisco, zahrnoval retrospektivní studii 155 mužů, kteří byli vyšetřeni MR prostaty za období listopad 2014 až prosinec 2016. Studie zjistila, že skupiny skóre PI-RADS, hodnoty ADC a kategorie ADC jsou nesouvislými statisticky významnými prediktory pro karcinom prostaty. Výsledky ukázaly statisticky významný rozdíl ve prospěch kombinace PI-RADS s kategoriemi ADC, přičemž největší přínos použití hodnot ADC nebo kategorií byl v lepším rozlišení lézí se skupinou PI-RADS skóre 4.

V další části se tato práce zabývala analýzou korelace hodnot ADC a PSA a testovali jsme hypotézu o existenci statisticky významné korelace mezi těmito proměnnými. Z výsledků Spearmanova korelačního testu vyšla p-hodnota = 0,556, která na hladině významnosti 5 % neumožnila zamítnout nulovou hypotézu, která předpokládá neexistenci statisticky významné korelace. Tato zjištění naznačují, že ačkoli ADC a PSA jsou oba důležité biomarkery pro diagnostiku a sledování onemocnění prostaty, jejich vzájemná korelace v rámci této analýzy není dostatečně silná, aby byla použita jako spolehlivý diagnostický nástroj pro predikci nebo sledování průběhu onemocnění. Jedním z možných vysvětlení tohoto výsledku může být skutečnost, že PSA je protein produkovaný prostatou, a jeho hladina může být ovlivněna různými faktory, jako jsou záněty, hyperplazie nebo trauma. PI-RADS skóre se zaměřuje na strukturální a morfologické charakteristiky zobrazené na MRI, které mohou být nesouvislé na hladině PSA.

Studie Sun, H. et al., 2022 „DCE-MRI and DWI can differentiate benign from malignant prostate tumors when serum PSA is  $\geq 10$  ng/ml“ (Sun et al., 2022, s. 1-10) se zaměřila na diagnostický potenciál dynamické kontrastně zesílené magnetické rezonance a DWI pro rozlišení mezi benigními a maligními tumory prostaty u pacientů se sérovou hladinou PSA  $\geq 10$  ng/ml. Kvantitativní retrospektivní výzkum prováděný na Medical University, Xinxiang v Číně, zahrnoval celkem 65 pacientů (32 v maligní lézi a 33 s benigní lézí prostaty) za období prosinec 2016 až listopad 2020. Ve studii byl také počítán ADC z DWI. Výsledky

studie ukázaly, že hodnoty ADC mohou rozlišit mezi maligními a benigními tumory v případech, kdy  $PSA \geq 10$  ng/ml a že hodnoty ADC poskytují účinný diagnostický nástroj pro identifikaci karcinomu prostaty u pacientů s vysokými PSA hodnotami. Studie zdůrazňuje, že PSA jako marker pro včasnou diagnózu onemocnění prostaty je samostatně nedostatečný a vyzdvihují přínos ADC u vyšších hodnot PSA. V této práci nebyla potvrzena statisticky významná korelace mezi ADC a PSA, což mohlo být zapříčiněno mnoha faktory. Jedním z možných faktorů může být fakt, že v naší práci byla průměrná hodnota PSA 9,04 ng/ml, medián = 6,8 ng/ml, což nepředstavuje dostatečné zastoupení dat vhodné k porovnání s daty měřenými Sun, H. et al., 2022, kde zpracovali data u pacientů se sérovou hladinou  $PSA \geq 10$  ng/ml.

Dalším předmětem práce byla analýza vztahu PSA hodnot a skupin PI-RADS skóre. Z výsledků této diplomové práce vyplynulo, že na hladině významnosti 5 % neexistuje statisticky významná souvislost mezi PSA hodnotami a skupinami PI-RADS skóre. Využili jsme boxploty a histogramy k vizualizaci distribuce hodnot PSA v jednotlivých skupinách PI-RADS skóre. Nejčastěji vyskytující se hodnoty pro PI-RADS 4 byly v rozmezí od 5-10 ng/ml, medián odpovídá hodnotě 6 ng/ml, průměr je 8,5 ng/ml. Pro skupinu PI-RADS 5 byly nejčastěji zastoupené hodnoty shodně v rozmezí od 5-10 ng/ml, medián odpovídá hodnotě 8,19 ng/ml, průměr je 9,9 ng/ml. Pro nenormální rozložení vzorků byl proveden Wilcoxonův neparametrický test pro dva nesouvislé vzorky, který odhalil nevýznamnou souvislost mezi hodnotami PSA a skupinami PI-RADS skóre ( $p$ -hodnota = 0,06101). Nezáskali jsme dostatek důkazů pro zamítnutí nulové hypotézy. Tím byla přijata neexistence statisticky významné souvislosti mezi hodnotami PSA a skupinami PI-RADS pro náš dataset. Tato zjištění naznačují, že hodnoty ADC a PSA nejsou přímo propojeny u pacientů s podezřením na rakovinu prostaty. Nekorelace proměnných může být způsobena různými faktory, jako jsou biologické vlastnosti nádorů, stádium onemocnění nebo další neidentifikované proměnné.

Zahraniční studie Gupta et al. (2021) s názvem „Correlation between Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2, Prostate-Specific Antigen Levels, and Local Staging in Biopsy-Proven Carcinoma Prostate: A Retrospective Study“ (Gupta et al., 2021, s. 1-4) se zabývala podobným zkoumáním. Studie se zabývá korelací mezi hodnotami ADC, hodnotami PSA a skupinami PI-RADS skóre při diagnostice rakoviny prostaty. Kvantitativní retrospektivní výzkum prováděný na Government Medical College v Indii za období červen 2019 až únor 2020 zahrnoval 72 pacientů, kteří podstoupili multiparametrické vyšetření prostaty MR a následně biopsii prostaty na základě výsledků z MR. Studie došla k závěru,

že pacienti s PI-RADS skóre 5 měli hodnoty PSA vyšší než 40 ng/ml. Pacienti s PI-RADS skóre 4 měli hodnoty PSA v rozmezí 20 – 39,9 ng/ml. Bylo zjištěno, že nižší hodnoty ADC jsou spojeny s vyšším skóre PI-RADS, což naznačuje vyšší pravděpodobnost přítomnosti rakoviny prostaty. Hodnoty PSA byly také statisticky významně spojeny s PI-RADS skóre, ale jejich přesnost při předpovídání přítomnosti rakoviny byla nižší ve srovnání s kombinací PI-RADS skóre a hodnot ADC. Výsledky studie se shodují s výsledky této diplomové práce, že nižší hodnoty ADC korelují s vyššími skupinami PI-RADS skóre. Studie potvrdila korelaci mezi PSA hodnotami a skupinami PI-RADS skóre, avšak tato diplomová práce toto tvrzení negovala. Rozpor výsledků může být zapříčiněn mnoha faktory, například velmi rozdílné demografické složení vzorku pacientů, přítomnost odlehlých hodnot v datasetu a heterogenními biologickými vlastnostmi onemocnění.

Výše zmíněná zahraniční studie Singh at al, 2018, s názvem „PI-RADS v2 in Prostate Cancer and Correlation with T Staging, PSA Levels and ADC Values“ (Singh at al, 2018, s. 1-7), se dále zabývala také zkoumáním vztahu PI-RADS skóre a hodnotami PSA. Výsledky ukázaly významnou korelaci mezi skóre PI-RADS a hladinami PSA. Byla zjištěna významná korelace mezi skóre PI-RADS v2 a hladinami PSA, s P hodnotou <0,005. To znamená, že vyšší hladiny PSA mají tendenci být spojeny s vyššími skóre PI-RADS v2, což zvyšuje pravděpodobnost detekce klinicky významné rakoviny prostaty. Výsledky studie ukázaly zastoupení hodnot PSA <20 ng/ml u 9 pacientů s PI-RADS skóre skupinou 3 nebo nižší. U hodnot PSA v rozmezí 20-100 ng/ml bylo zastoupeno celkem 33 pacientů, kde 2 pacienti měli skupinu PI-RADS skóre 5, 15 pacientů mělo skupinu PI-RADS skóre 4 a 16 pacientů mělo PI-RADS skóre skupinou 3 nebo nižší. U zastoupení PSA hodnot >100 bylo celkem 45 pacientů, z čehož 36 mělo skupinu PI-RADS skóre 5, 8 mělo skupinu PI-RADS skóre 4 a 1 měl skupinu PI-RADS skóre 1. Porovnáme-li tyto výsledky s výsledky této práce, je zřejmé, že naše výsledky nepotvrzují přímou korelaci mezi hodnotami PSA a PI-RADS skupinami. Je důležité si uvědomit, že rozdíly mezi výsledky mohou být ovlivněny řadou faktorů, jako je velikost vzorku, demografické charakteristiky pacientů, metodologie sběru a analýzy dat nebo variabilita v interpretaci PI-RADS skóre.

Posledním předmětem zkoumání práce byla analýza vztahu ADC hodnot, PSA hodnot a PI-RADS skóre skupinami 4 a 5. Na základě provedené regresní analýzy jsme sledovali, jak hodnoty PSA ovlivňují hodnoty ADC, s očekáváním, že bychom mohli odhalit statisticky významný lineární vztah mezi těmito proměnnými. Naše výsledky však ukázaly, že tento předpoklad nebyl potvrzen. U pacientů se skóre PI-RADS 4 a 5 bylo zjištěno, že hodnoty PSA

nemají žádný statisticky významný vliv na hodnoty ADC. Tento závěr podporují nevýznamné koeficienty pro PSA ( $p < 2e-16$ ,  $p < 1.09e-12$ ) a dvě velmi nízké hodnoty Multiple R-squared (0.02801 u skupiny PI-RADS 4 a 0.02774 u skupiny PI-RADS 5), což znamená, že variabilita hodnot ADC není významně ovlivněna hodnotami PSA.

Zahraniční studie, která se zabývala vztahy mezi hodnotami ADC, PSA hodnotami a skupinami PI-RADS skóre je zahraniční studie Saini R. et al, 2023 s názvem „Correlation of multiparametric MRI (PI-RADS grading) and apparent diffusion coefficient values in prostate tumor with Gleason score“. (Saini R. et al, 2023, s. 156-160) Studie se zabývala zkoumáním hodnocení efektivity multiparametrické MR v detekci rakoviny prostaty s použitím PI-RADS hodnocení a hodnot ADC a Gleasonovým skóre. Kvantitativní retrospektivní výzkum prováděný v indickém Maharishi Markandeshwar Institute of Medical Sciences and Research v Indii zahrnoval 50 pacientů starších 50 let s příznaky naznačujícími rakovinu prostaty. Všichni pacienti podstoupili vyšetření MR prostaty a následně transrektální ultrazvukem řízenou biopsii. Výsledky z biopsického vyšetření a Gleasonovo skóre byly hodnoceny s PI-RADS skórem a hodnotami PSA a ADC. Studie uvádí, že existuje pozitivní lineární vztah mezi PI-RADS skóre a hladinami PSA a inverzní vztah mezi průměrnými hodnotami ADC nádoru a Gleasonovým skórem. Dále byla zjištěna pozitivní lineární vztah mezi PI-RADS skupinami a Gleasonovým skóre, což naznačuje, že multiparametrická MR s hodnocením PIRADS a hodnotami ADC může pomoci lépe cílit biopsii pro charakterizaci rakoviny prostaty, protože dobře koreluje s Gleasonovým skóre. Výsledky studie ukázaly, že hodnoty PSA vzrůstající o 0,52 ng/ml korelují s vyššími stupni PI-RADS skóre. Tato diplomová práce nedošla ke statisticky významnému vztahu mezi hodnotami PSA a PI-RADS skórem. Rozdíly mezi touto prací a výsledky Saini et al. mohou být zapříčiněny rozdílnými metodami sběru dat, heterogenitou vzorku pacientů, geografickými a demografickými rozdíly ve studované populaci, či rozdíly v metodice zpracování a analýzy obrazových dat. Dále ve studii Saini et al. zaznamenali inverzní vztah mezi průměrnými hodnotami ADC nádoru a Gleasonovým skórem. Ačkoli se jejich studie přímo nezabývala korelací mezi ADC hodnotami a PI-RADS skóre, zjištění o pozitivním lineárním vztahu mezi PI-RADS skupinami a Gleasonovým skóre a zjištění o inverzním vztahu mezi průměrnými hodnotami ADC nádoru a Gleasonovým skórem., naznačují, o inverzním lineárním vztahu mezi hodnotami ADC a skupinami PI-RADS skupinou. Naše výsledky potvrdily existenci statisticky významné souvislosti mezi hodnotami ADC a PI-RADS skóre, které vykazovaly, že nižší hodnoty ADC mohou být spojeny s vyššími skupinami PI-RADS skóre.

Studie Westphalena a kol. (2019) s názvem „Detection of clinically significant prostate cancer with PIRADS v2 scores, PSA density, and ADC values in regions with and without mpMRI visible lesions“ (Westphalen et al., 2019, s. 713-732) zkoumala, zda hodnoty PSA, PSA density a ADC zlepšují přesnost predikce PI-RADS v2 a identifikují muže, u nichž současná systematická biopsie odhalí klinicky významný rakovinný nádor v oblastech bez viditelných lézí na MR. V rámci retrospektivní studie provedené na Department of Radiology and Biomedical Imaging, University of California, za období červenec 2014 až únor 2018, bylo zahrnuto 538 mužů (medián věku 66 let, medián PSA 7.0 ng/mL) se 780 identifikovanými lézemi. Skóre PI-RADS v2 3, 4 a 5 bylo spojeno s klinicky významným nádorem u 8.0 % (16/201), 22.8 % (90/395) a 59.2 % (109/184) lézí. Studie došla k závěru, že hodnoty ADC zlepšují charakterizaci lézí s PI-RADS skóre 4 nebo 5. Výsledky studie zdůrazňují význam kombinace hodnot ADC a PSA s PI-RADS skóre pro zlepšení diagnostické přesnosti v detekci klinicky významného rakovinného nádoru prostaty. Studie Westphalena a kol. (2019) a výsledky této práce se shodují ve významu a užitečnosti MR a PI-RADS skóre v diagnostice a hodnocení rakoviny prostaty. Obě práce tvrdí, že existuje statisticky významná negativní korelace mezi ADC hodnotami a PI-RADS skóre, což znamená, že nižší ADC hodnoty jsou spojeny s vyššími PI-RADS skóre, která indikuje o vyšší pravděpodobnosti přítomnosti rakoviny prostaty. Práce se rozcházejí u tvrzení významnosti korelace PSA hodnot, ADC hodnot a skupinami PI-RADS skóre. Výsledky této diplomové práce naznačují slabý nebo žádný vztah mezi PSA a ADC hodnotami v rámci PI-RADS skóre, zatímco studie zdůraznila významný vztah mezi těmito proměnnými. Dále tato práce nenašla statisticky významnou souvislost mezi PSA hodnotami, ADC hodnotami a PI-RADS skóre skupinami, zatímco studie Westphalena a kol. (2019), potvrdila významnou korelaci mezi PSA, PI-RADS skóre a ADC hodnotami. Rozdíly ve výsledcích mohou být způsobeny rozdíly ve velikosti vzorku, demografických faktorech pacientů nebo rozložení PI-RADS skóre mezi studii. Variace v interpretaci PI-RADS skóre mezi různými radiology, mohou také přispět k rozdílu ve výsledcích.

Další zkoumání analýzy vlivu hodnot ADC spolu s hodnotami PSA a skupinami PI-RADS skóre při diagnostice karcinomu prostaty, by se mohla práce zaměřit na: Rozšíření výzkumu na větší a více diverzifikovaný soubor pacientů zahrnující různé etnické skupiny a geografické oblasti, aby se zvýšila generalizace výsledků a porozumění možným demografickým rozdílu ve vztazích mezi ADC, PSA a PI-RADS skóre; Využití modelování prediktivních modelů pro přesnější klasifikaci rizika rakoviny prostaty na základě kombinace

ADC hodnot, PSA hodnot a PI-RADS skóre spolu s hodnotami kontrolních zdravých pacientů. Tato analýza by mohla zahrnovat vytváření a validaci komplexních statistických modelů, které by lépe určovaly pravděpodobnost malignity; Výzkum by mohl zahrnout i další klinické a patologické proměnné, jako je Gleasonovo skóre. Toto by umožnilo komplexnější hodnocení korelací mezi obrazovými charakteristikami a patologickými vlastnostmi tumoru. Také by bylo vhodné analyzovat data z různých zón prostaty (periferní, centrální a přechodová zóna); Výběr pacientů s vyššími hodnotami PSA pro detailní studium by mohl poskytnout hlubší pochopení vztahu mezi PSA a ADC hodnotami; Vyváženosti počtu vzorků v jednotlivých skupinách PI-RADS skóre pro nezkrácené výsledky při porovnání skupin mezi sebou; Standardizace postupu měření ROI pro měření ADC hodnot pro porovnatelnost mezi jednotlivými studii.

Limitacemi této práce je velikost vzorku, retrospektivní design studie a absence generalizace výsledků. Práce byla provedena za relativně krátké období (leden až prosinec 2022), neprovádí longitudinální sledování pacientů, které by mohlo lépe objasnit, jak se tyto proměnné mění v čase. Měření byla provedena na jednom pracovišti (Fakultní nemocnici Královské Vinohrady) a z jedné geografické oblasti (spádová oblast Prahy 3, 10, 15 a 22). I když studie zahrnuje analýzu ADC hodnot, PSA hodnot a PI-RADS skóre, mohou existovat další relevantní biomarkery nebo obrazové charakteristiky, které nebyly v této práci zkoumány.

# ZÁVĚR

V této diplomové práci jsme se věnovali komplexnímu průzkumu a analýze účinků aparentního difúzního koeficientu (ADC) v kontextu diagnostiky rakoviny prostaty pomocí magnetické rezonance (MR). Prostřednictvím detailního zkoumání souboru pacientů vyšetřených na Klinice radiologie a nukleární medicíny FN Královské Vinohrady v Praze jsme se zaměřili na pacienty s PI-RADS skóre 4 a 5, přičemž jsme sledovali vztahy mezi hodnotami ADC, PI-RADS skóre a hodnotami PSA. Výzkum ukázal statisticky významné rozdíly mezi hodnotami ADC v rámci skupin PI-RADS skóre 4 a 5, což podtrhuje potenciál využití ADC jako důležitého biomarkeru pro přesnější diagnostiku a stratifikaci rizika karcinomu prostaty. Tento náleží je v souladu s aktuálními mezinárodními studiemi, které zdůrazňují význam kombinace obrazových a biologických markerů pro optimalizaci diagnostických a terapeutických strategií. Nicméně náš výzkum také poukázal na několik omezení, včetně omezené velikosti vzorku a geografické homogenity pacientů, což může ovlivnit generalizovatelnost zjištěných výsledků. Dále bylo zjištěno, že neexistuje statisticky významná korelace mezi hodnotami PSA a ADC, hodnotami PSA a skupinami PI-RADS skóre a ani nepotvrdila existenci lineárního vztahu mezi hodnotami ADC vzhledem k PI-RADS skóre skupinami a hodnotami PSA. Výsledky naznačují, že tyto proměnné samostatně nemusí poskytovat úplný obraz o dynamice onemocnění. Tato práce tedy zdůrazňuje potřebu dalšího výzkumu v této oblasti, zejména rozšíření výzkumných souborů o další demografické skupiny a zahrnutí dalších potenciálních biomarkerů.

Diplomová práce poskytla důkazy podporující využití kvantitativních hodnot ADC a PI-RADS skóre v multiparametrickém MR zobrazování pro rozlišení mezi různými stádii karcinomu prostaty, což může pomoci lékařům při výběru nejvhodnější terapeutické strategie. Práce dále nabídla nový pohled na vztah mezi hodnotami PSA a ADC, což může přispět k lepšímu porozumění dynamice onemocnění a potenciálně vést k rozvoji nových léčebných přístupů. Dále práce podněcuje k dalšímu výzkumu v oblasti diagnostických a prognostických biomarkerů pro karcinom prostaty, zvláště v kontextu rostoucí incidence tohoto onemocnění ve veřejném zdraví.



## REFERENČNÍ SEZNAM

A, Julie Y.; SIDANA, Abhinav; CHOYKE, Peter L.; WOOD, Bradford J.; PINTO, Peter A. et al., 2017. Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Active Surveillance of Prostate Cancer. Online. Balkan Medical Journal. 2017-09-29, roč. 34, č. 5, s. 388-396. ISSN 21463123. Dostupné z: <https://doi.org/10.4274/balkanmedj.2017.0708>. [cit. 2024-03-05].

ČIHÁK, Radomír. Anatomie [online]. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016 [cit. 2023-02-23]. ISBN 978-80-247-4788-0.

DEHLINGER, Lynn (2004). "The MRI Inventors: Who Was Responsible?," ESSAI: Vol. 2, Article 9. Available at: <http://dc.cod.edu/essai/vol2/iss1/9>. [cit. 2023-02-24]

EDELMAN, Robert R. The History of MR Imaging as Seen through the Pages of Radiology. Radiology [online]. 2014, 273(2S), S181-S200 [cit. 2023-7-27]. ISSN 0033-8419. Dostupné z: [doi:10.1148/radiol.14140706](https://doi.org/10.1148/radiol.14140706)

FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN. Základy zobrazovacích metod. Praha: Galén, 2015, ISBN 978-807-4921-643.

FRANIEL, T.; ASBACH, P.; TEICHGRÄBER, U.; HAMM, B. a FOLLER, S. Prostate Imaging – An Update. Online. RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren. 2015, roč. 187, č. 09, s. 751-759. ISSN 1438-9029. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/s-0035-1553162>. [cit. 2024-03-05].

GARNICK, MBM (ed.) (2017). 2017 Annual Report on Prostate Diseases. Harvard Health Publications, Boston, MA. ISBN: 978-1614011170. Available from: ProQuest Ebook Central.

GAUR, Sonia; HARMON, Stephanie; ROSENBLUM, Lauren; GREER, Matthew D.; MEHRALIVAND, Sherif et al. Can Apparent Diffusion Coefficient Values Assist PI-RADS Version 2 DWI Scoring? A Correlation Study Using the PI-RADSV2 and International Society of Urological Pathology Systems. Online. American Journal of Roentgenology. 2018, roč. 211, č. 1, s. W33-W41. ISSN 0361-803X. Dostupné z: <https://doi.org/10.2214/AJR.17.18702>. [cit. 2024-03-10].

GROVER, Vijay P.B., Joshua M. TOGNARELLI, Mary M.E. CROSSEY, I. Jane COX, Simon D. TAYLOR-ROBINSON a Mark J.W. MCPHAIL. Magnetic Resonance Imaging: Principles and Techniques. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology* [online]. 2015, 5(3), 246-255 [cit. 2023-02-21]. ISSN 09736883. Dostupné z: doi:10.1016/j.jceh.2015.08.001

GUPTA, Rahul; MAHAJAN, Manik a SHARMA, Poonam. Correlation between prostate imaging reporting and data system version 2, prostate-specific antigen levels, and local staging in biopsy-proven carcinoma prostate: A retrospective study. Online. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*. 2021, roč. 11, č. 1. ISSN 2229-516X. Dostupné z: [https://doi.org/10.4103/ijabmr.IJABMR\\_115\\_20](https://doi.org/10.4103/ijabmr.IJABMR_115_20). [cit. 2024-03-10].

HAMM, Bernd a Patrick ASBACH. Magnetic Resonance Imaging of the Prostate in the PI-RADS Era. *Diseases of the Abdomen and Pelvis 2018-2021* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2018, 2018-03-21, 99-115 [cit. 2023-03-21]. IDKD Springer Series. ISBN 978-3-319-75018-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-75019-4\_11

INGOLE, Sarang M.; MEHTA, Rajeev U.; KAZI, Zubair N. a BHUYAR, Rutuja V. Multiparametric Magnetic Resonance Imaging in Evaluation of Clinically Significant Prostate Cancer. Online. *Indian Journal of Radiology and Imaging*. S. s-0041-1730093. ISSN 0971-3026. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1730093>. [cit. 2024-03-14].

JORDAN, Eric J.; FISKE, Charles; ZAGORIA, Ronald a WESTPHALEN, Antonio C. PI-RADS v2 and ADC values: is there room for improvement? Online. *Abdominal Radiology*. 2018, roč. 43, č. 11, s. 3109-3116. ISSN 2366-004X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00261-018-1557-5>. [cit. 2024-03-14].

KIM, Sung Han; KWON, Whi-An a JOUNG, Jae Young. Impact of Benign Prostatic Hyperplasia and/or Prostatitis on the Risk of Prostate Cancer in Korean Patients. Online. *The World Journal of Men's Health*. 2021, roč. 39, č. 2. ISSN 2287-4208. Dostupné z: <https://doi.org/10.5534/wjmh.190135>. [cit. 2024-04-02].

KIM, Tae Heon; KIM, Chan Kyo; PARK, Byung Kwan; JEON, Hwang Gyun; JEONG, Byung Chang et al., 2016. Relationship between Gleason score and apparent diffusion coefficients of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in prostate cancer patients. Online. *Canadian Urological Association Journal*. 2016-11-10, roč. 10, č. 11-12, s. 377-82. ISSN 1920-1214. Dostupné z: <https://doi.org/10.5489/cuaj.3896>. [cit. 2024-03-05].

KOUDLEKOVÁ, M., ZACHOVAL, R., FERDA, J., BABJUK, M., VRANOVÁ, M., HEJCMANOVÁ, K., CHLOUPKOVÁ, R., GREGOR, J., DUŠEK, L., HEJDUK, K., MÁJEK, O. (2024). ProstateScreening.cz – Program časného záchytu karcinomu prostaty [online]. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.prostatescreening.cz>. Verze 1.0.

KUMAR, V. L. a P. K. MAJUMDER. Prostate gland: Structure, functions and regulation. *International Urology and Nephrology* [online]. 1995, 27(3), 231-243 [cit. 2023-03-21]. ISSN 0301-1623. Dostupné z: [doi:10.1007/BF02564756](https://doi.org/10.1007/BF02564756)

KWELDAM, C F, G J VAN LEENDERS a T VAN DER KWAST. Grading of prostate cancer: a work in progress. *Histopathology* [online]. 2019, 74(1), 146-160 [cit. 2023-03-21]. ISSN 03090167. Dostupné z: [doi:10.1111/his.13767](https://doi.org/10.1111/his.13767)

LE BIHAN, Denis. Apparent Diffusion Coefficient and Beyond: What Diffusion MR Imaging Can Tell Us about Tissue Structure. *Radiology* [online]. 2013, 268(2), 318-322 [cit. 2023-06-25]. ISSN 0033-8419. Dostupné z: [doi:10.1148/radiol.13130420](https://doi.org/10.1148/radiol.13130420)

LEUNG, David Ka-Wai; CHIU, Peter Ka-Fung; NG, Chi-Fai a TEOH, Jeremy Yuen-Chun, 2021. Role of pre-biopsy multiparametric MRI in prostate cancer diagnosis: Evidence from the literature. Online. *Türk Üroloji Dergisi/Turkish Journal of Urology*. 2021-02-08, roč. 47, č. Supp1, s. S65-S70. ISSN 21493057. Dostupné z: <https://doi.org/10.5152/tud.2020.20360>. [cit. 2024-03-05].

LUCARELLI, Nicola Maria; VILLANOVA, Ilaria; MAGGIALETTI, Nicola; GRECO, Sara; TARANTINO, Francesca et al. Quantitative ADC: An Additional Tool in the Evaluation of Prostate Cancer? Online. *Journal of Personalized Medicine*. 2023, roč. 13, č. 9. ISSN 2075-4426. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/jpm13091378>. [cit. 2024-02-19].

MALÍKOVÁ, Hana, 2022. Základy radiologie a zobrazovacích metod. Druhé, aktualizované vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-5190-3.

MANETTA, Rosa; PALUMBO, Pierpaolo; GIANNERAMO, Camilla; BRUNO, Federico; ARRIGONI, Francesco et al., 2019. Correlation between ADC values and Gleason score in evaluation of prostate cancer: multicentre experience and review of the literature. Online. *Gland Surgery*. Roč. 8, č. S3, s. S216-S222. ISSN 2227684X. Dostupné z: <https://doi.org/10.21037/gs.2019.05.02>. [cit. 2024-03-05].

MCROBBIE, Donald W.; MOORE, Elizabeth A.; GRAVES, Martin J. a PRINCE, Martin R. MRI from Picture to Proton. Online. In: MRI from Picture to Proton. 3. Cambridge University Press, 2017, s. 9–182. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/9781107706958>. [cit. 2024-04-21].

NEWMAN, Aaron J. Research methods for cognitive neuroscience. UK: SAGE, 2019. ISBN 978-1-4462-9650-9.

PANDA, Ananya, Vikas GULANI a Lee PONSKY. Reading MRI of the Prostate : A Practical Guide. 1. Springer International Publishing, 2020. ISBN 9783319993553.

SAINI, Ravina; VOHRA, Aditi; JAIN, Amit; NARULA, Harneet; KADYAN, Harneet et al. Correlation of multiparametric MRI (PIRADS grading) and apparent diffusion coefficient values in prostate tumor with Gleason score. Online. Asian Journal of Medical Sciences. 2023, roč. 14, č. 1, s. 156-160. ISSN 2091-0576. Dostupné z: <https://doi.org/10.3126/ajms.v14i1.48514>. [cit. 2024-03-14].

SHARP, Jonathan C. a Scott B. KING. MRI using radiofrequency magnetic field phase gradients. Magnetic Resonance in Medicine [online]. 2010, 63(1), 151-161 [cit. 2023-02-24]. ISSN 07403194. Dostupné z: [doi:10.1002/mrm.22188](https://doi.org/10.1002/mrm.22188)

SINGH, Kunwarpal; GUPTA, Kamlesh; THUKRAL, C. L.; GOYAL, Priya; ARORA, Vijinder et al. PI-RADS v2 in Prostate Cancer and Correlation with T Staging, PSA Levels and ADC Values. Online. Iranian Journal of Radiology. 2017, roč. 15, č. 1. ISSN 1735-1065. Dostupné z: <https://doi.org/10.5812/iranjradiol.14038>. [cit. 2024-03-14].

SRIGLEY, John R., Brett DELAHUNT, Lars EGEVAD, Hemamali SAMARATUNGA, John YAXLEY a Andrew J. EVANS. One is the new six: The International Society of Urological Pathology (ISUP) patient-focused approach to Gleason grading. Canadian Urological Association Journal [online]. 2016, 10(9-10), 339-41 [cit. 2023-03-21]. ISSN 1920-1214. Dostupné z: [doi:10.5489/cuaj.4146](https://doi.org/10.5489/cuaj.4146)

SUN, Hongmei; DU, Fengli; LIU, Yan; LI, Qian; LIU, Xinai et al. DCE-MRI and DWI can differentiate benign from malignant prostate tumors when serum PSA is  $\geq 10$  ng/ml. Online. Frontiers in Oncology. 2022, roč. 12. ISSN 2234-943X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.925186>. [cit. 2024-03-14].

TAGHIPOUR, Mehdi; ZIAEI, Alireza; ALESSANDRINO, Francesco; HASSANZADEH, Elmira; HARISINGHANI, Mukesh et al. Investigating the role of DCE-MRI, over T2 and DWI, in accurate PI-RADS v2 assessment of clinically significant peripheral zone prostate lesions as defined at radical prostatectomy. Online. *Abdominal Radiology*. 2019, roč. 44, č. 4, s. 1520-1527. ISSN 2366-004X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00261-018-1807-6>. [cit. 2024-04-02].

TURKBEY, Baris, Anna M. BROWN, Sandeep SANKINENI, Bradford J. WOOD, Peter A. PINTO a Peter L. CHOYKE. Multiparametric prostate magnetic resonance imaging in the evaluation of prostate cancer. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* [online]. 2016, 66(4), 326-336 [cit. 2023-06-25]. ISSN 00079235. Dostupné z: [doi:10.3322/caac.21333](https://doi.org/10.3322/caac.21333)

Úzis, ČR. Měsíc prevence rakoviny prostaty. Online. ÚZIS ČR. Dostupné z: <https://www.uzis.cz/index.php?pg=aktuality&aid=8521>. [cit. 2024-03-15].

VERZE, Paolo; CAI, Tommaso a LORENZETTI, Stefano. The role of the prostate in male fertility, health and disease. Online. *Nature Reviews Urology*. 2016, roč. 13, č. 7, s. 379-386. ISSN 1759-4812. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nrurol.2016.89>. [cit. 2024-04-02].

WESTBROOK, C., & ROTH, CK (2011). *MRI in Practice*. Wiley, Somerset. ISBN: 978-1444337433. Available from: ProQuest Ebook Central.

WESTPHALEN, Antonio C.; FAZEL, Farhad; NGUYEN, Hao; CABARRUS, Miguel; HANLEY-KNUTSON, Katryana et al. Detection of clinically significant prostate cancer with PI-RADS v2 scores, PSA density, and ADC values in regions with and without mpMRI visible lesions. Online. *International braz j urol*. 2019, roč. 45, č. 4, s. 713-723. ISSN 1677-6119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2018.0768>. [cit. 2024-03-14].

ZACHOVAL, R., DUŠEK, L., & BABJUK, M. (2019). Screening karcinomu prostaty v České republice. *Praktický Lékař*, 99(3), 102-109. [cit. 2024-04-20]

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ADC	Aparentní difúzní koeficient	Apparent diffusion coefficient
BPH	Nenádorové zvětšení prostaty	Benign prostatic hyperplasia
CT	Výpočetní tomografie	Computed tomography
DWI	Difúzně vážený obraz	Diffusion weighted image
FOV	Velikost pole	Field of view
FID	Rozpad volné indukce	Free induction decay
MR	Magnetická rezonance	Magnetic resonance imaging
NMR	Nukleární magnetická rezonance	Nuclear magnetic resonance
PET	Pozitron emisní tomografie	Positron emission tomography
PI-RADS		Prostate Imaging Reporting and Data System
PSA	Prostatický specifický antigen	Prostate-Specific Antigen
PD	Protodenzitní obraz	Proton density image
RF	Radiofrekvenční	radiofrequency
RA	Radiologický asistent	Radiographer
ROI	Oblast zájmu	Range of interest
SPECT	Jedno-fotonová emisní výpočetní tomografie	Single-photon emission computed tomography
T	Tesla; síla magnetického pole	Tesla, magnetic flux density
TE	Čas odezvy	Time to echo
TR	Čas opakování	Time to repetition
ÚZIS	Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR	

# SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Popisná statistika atributu "Věk".....	34
Obrázek 2: Boxplot atributu "Věk" (roky). Zdroj: autor.....	34
Obrázek 3: Histogram atributu "Věk" (roky). Zdroj: autor.....	35
Obrázek 4: Shapiro-Wilkův test normality atributu "Věk". Zdroj: autor.....	35
Obrázek 5: Popisná statistika atributu "ADC". Zdroj: autor.....	35
Obrázek 6: Boxplot atributu "ADC" ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ). Zdroj: autor.....	36
Obrázek 7: Histogram atributu "ADC" ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ). Zdroj: autor.....	37
Obrázek 8: Shapiro-Wilkův test normality pro atribut "ADC". Zdroj: autor.....	37
Obrázek 9: Popisná statistika atributu "PSA" ( $\text{ng/ml}$ ). Zdroj: autor.....	37
Obrázek 10: Boxplot atributu "PSA" ( $\text{ng/ml}$ ). Zdroj: autor.....	38
Obrázek 11: Histogram hodnot atributu "PSA hodnoty" ( $\text{ng/ml}$ ). Zdroj: autor.....	39
Obrázek 12: Shapiro-Wilkův test normality atributu "PSA hodnoty" ( $\text{ng/ml}$ ). Zdroj: autor.....	39
Obrázek 13: Popisná statistika kategoriálního atributu "PI-RADS skóre". Zdroj: autor.....	39
Obrázek 14: Souhrnný graf PI-RADS hodnot. Zdroj: autor.....	40
Obrázek 15: Četnost zastoupení ADC hodnot ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) v rámci skupiny PI-RADS 4. Zdroj: autor.	41
Obrázek 16: Četnost zastoupení ADC hodnot ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) v rámci skupiny PI-RADS 5. Zdroj: autor.	42
Obrázek 18: Statistický souhrn distribuce ADC hodnot ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) dle skupiny PI-RADS skóre. Zdroj: autor.....	43
Obrázek 17: Vztah mezi hodnotami ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) dle skupiny PI-RADS skóre. Zdroj: autor.....	43
Obrázek 19: F-test na rovnost rozptylů. Zdroj: autor.....	44
Obrázek 20: Dvouvýběrový T-test. Zdroj: autor.....	44
Obrázek 21: Četnost zastoupení PSA hodnot ( $\text{ng/ml}$ ) v rámci skupiny PI-RADS 4. Zdroj: autor.	45
Obrázek 22: Četnost zastoupení PSA hodnot ( $\text{ng/ml}$ ) v rámci skupiny PI-RADS 5. Zdroj: autor.	46
Obrázek 23: Boxplot hodnot PSA ( $\text{ng/ml}$ ) dle skupin PI-RADS skóre. Zdroj: autor.....	47
Obrázek 24: Statistický souhrn distribuce PSA hodnot ( $\text{ng/ml}$ ) dle skupiny PI-RADS skóre. Zdroj: autor.....	47
Obrázek 25: Wilcoxonův sumační test pro dva nesouvislé vzorky. Zdroj: autor.....	48
Obrázek 26: Bodový graf vztahu hodnot ADC ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) a PSA ( $\text{ng/ml}$ ). Zdroj: autor.....	49
Obrázek 27: Spearmanův korelační test atributů ADC a PSA. Zdroj: autor.....	50
Obrázek 28: Regresní přímky pro ADC v souvislosti na PSA hodnotách ( $\text{ng/ml}$ ) a skupin PI-RADS skóre. Zdroj: autor.....	51
Obrázek 29: Přehledné informace o modelu pro regresní analýzu hodnot ADC a PSA skupiny PI-RADS 4. Zdroj: autor.....	52

Obrázek 30: Přehledné informace o modelu pro regresní analýzu hodnot ADC a PSA skupiny PI-RADS 5. Zdroj: autor.....	53
---	----



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Souhlasné stanovisko Etické komise Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci.....	74
Příloha 2: Souhlas s realizací výzkumného šetření ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady .....	75

# PŘÍLOHY

Příloha 1: Souhlasné stanovisko Etické komise Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci.



Fakulta  
zdravotnických věd

UPOL - 187148/FZV-2023

Vážená paní  
Bc. Iva Bublíková

2023-08-07

Vyjádření Etické komise FZV UP

Vážená paní bakalárko,

na základě Vaší Žádosti o stanovisko Etické komise FZV UP byla Vaše výzkumná část diplomové práce posouzena a po vyhodnocení všech zaslaných dokumentů Vám sdělujeme, že diplomové práci s názvem „**Aparentní difúzní koeficient u vyšetření prostaty magnetickou rezonancí**“, jehož jste hlavní řešitelkou, bylo uděleno

**souhlasné stanovisko Etické komise FZV UP.**

S pozdravem,

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
Fakulta zdravotnických věd  
Etická komise  
Hněvotínská 3, 775 15 Olomouc

Mgr. Renáta Váverková  
předsedkyně  
Etické komise FZV UP

Fakulta zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci  
Hněvotínská 3 | 775 15 Olomouc | T: 585 632 880  
[www.fzv.upol.cz](http://www.fzv.upol.cz)

Příloha 2: Souhlas s realizací výzkumného šetření ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady.



Univerzita Palackého  
v Olomouci



Fakulta  
zdravotnických věd

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta zdravotnických věd  
Hněvotínská 976/3, 779 00 Olomouc

Souhlas s výzkumným šetřením

Žádám Radiodiagnostickou kliniku Fakultní nemocnice Královské Vinohrady a 9. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze o souhlas s realizací výzkumného šetření k mé diplomové práci na téma Aparentní difúzní koeficient u vyšetření prostaty magnetickou rezonancí.

Jmenuji se Iva Bublíková, jsem studentkou studijního oboru Zobrazovací technologie v radiodiagnostice Univerzity Palackého v Olomouci. Data shromážděná v rámci výzkumného šetření budou použita pro vypracování mé diplomové práce. Zavazuji se, že zachovám mlčenlivost o skutečnostech, o nichž se dozvím v souvislosti s prováděním výzkumem a sběrem dat. Během sběru a pracování dat bude zachována anonymita pacientů zařazených do výzkumného souboru dle zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů.

Dne 20. 4. 2023 v Praze

žadatel:

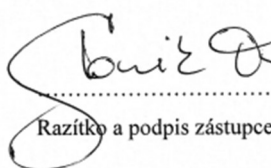
Iva Bublíková

Gustava Noska 25, 350 02 Cheb

Vyjádření souhlasu

Dle zákona č. 101/2000Sb., o ochraně osobních údajů Vám uděluji /~~neuděluji~~ souhlas s realizací výzkumné činnosti a se zpracováním dat poskytnutých naším pracovištěm.

Datum 20. 4. 2023

  
Razítko a podpis zástupce pracoviště

10	FAKULTNÍ NEMOCNICE
002	KRÁLOVSKÉ VINOHRADY
726	Srnbárova 50, 100 34 Praha 10
	Radiodiagnostická klinika
	809
	tel.: 267 162 456 /1/