

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Veronika Němcová

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií

Zobrazování karcinomu prostaty pomocí magnetické rezonance

Bakalářská práce

2024

Veronika Němcová

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Veronika Němcová**  
Osobní číslo: **Z21220**  
Studijní program: **B0914P360014 Radiologická asistence**  
Téma práce: **Zobrazování karcinomu prostaty pomocí magnetické rezonance**  
Téma práce anglicky: **Magnetic resonance imaging of prostate cancer**  
Zadávací katedra: **Katedra klinických oborů**

## Zásady pro vypracování

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BENEŠ, J. et al., 2022. *Základy lékařské fyziky*. Praha: Karolinum. 349s. ISBN 978-80246-5398-3.  
ČIHÁK, Radomír, 2013. *Anatomie 2: Třetí, upravené a doplněné vydání*. Praha: Grada Publishing, a. s. 512s. ISBN 978-80-247-4788-0.  
HORA, Milan et al., 2020. *Urologie pro studenty všeobecného lékařství*. Praha: Karolinum. 131s. ISBN 978-80-246-4544-5.  
MALÍKOVÁ, Hana et al., 2022. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Karolinum, 118s. ISBN 978-80-246-5190-3.  
PLEVA, Martin a Petr OUŘEDNÍČEK, 2012. *MRI srdce: Praktické využití z pohledu kardiologa*. Praha: Grada Publishing, a. s., 136s. ISBN 978-80-247-3931-1.

Vedoucí bakalářské práce: **MUDr. Bořivoj Korběl**  
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. dubna 2024**

L.S.  
**doc. RNDr. ThLic. Karel Sládek, Ph.D., MBA** v.r.  
děkan

**Mgr. Zuzana Červenková, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. března 2024

## PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Zobrazování karcinomu prostaty pomocí magnetické rezonance jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 24. 04. 2024

Veronika Němcová v. r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych chtěla poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu MUDr. Bořivojovi Korbelovi, za jeho vždy vlídný a vstřícný přístup, za jeho cenné rady a čas, který mi při psaní bakalářské práce věnoval. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při studiu na vysoké škole a také svým kamarádům a spolužákům, kteří mi byli oporou, nejen při psaní bakalářské práce, ale i během celého studia.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. První, teoretická část, se zabývá problematikou prostaty, onemocněním karcinomem prostaty, magnetickou rezonancí a populačním pilotním záchytem karcinomu prostaty. V druhé, praktické části, je zachycen průběh vyšetření karcinomu prostaty v magnetické rezonanci, popsána metodika výzkumu a následný výzkum. Cílem práce je zjistit, zda magnetická rezonance bude schopna identifikovat suspektní ložiska z tumorózní etiologie karcinomu prostaty a zda budou histologicky ověřena ložiska typu PIRADS 4 a PIRADS 5 jako tumor, z popisu radiologa v PI-RADS 2.1 hodnotícím systému.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Magnetická rezonance, prostata, zobrazování prostaty, karcinom prostaty, populační pilotní záchyt karcinomu prostaty, PI-RADS 2.1

## **TITLE**

Magnetic resonance imaging of prostate cancer

## **ANNOTATION**

The bachelor thesis is divided into theoretical and practical parts. The first theoretical part deals with the prostate, prostate cancer, magnetic resonance, prostate cancer, magnetic resonance imaging and population-based pilot prostate cancer detection. In the second practical part, the course of prostate cancer MRI examination, research methodology and research. The aim of this work is to determine whether MRI will be able to identify suspicious lesions from a tumor etiology of prostate cancer, and whether PIRADS 4 and PIRADS 5 type lesions will be histologically verified as tumor from the radiologist's description in the PI-RADS 2.1 scoring system.

## **KEYWORDS**

Magnetic resonance, prostate, prostate imaging, prostate cancer, population-based pilot interception of prostate cancer, PI-RADS 2.1

# OBSAH

Úvod .....	13
1 Cíle a metody práce .....	15
1.1 Cíl práce.....	15
1.2 Metody k dosažení cíle .....	15
2 Teoretická část .....	16
2.1 Anatomie prostaty.....	16
2.1.1 Makroskopická a mikroskopická stavba.....	17
2.1.2 Zónová anatomie.....	17
2.1.3 Cévní zásobení prostaty .....	18
2.2 Prostata a její funkce.....	19
2.3 Nejčastější onemocnění prostaty .....	19
2.3.1 Benigní hyperplazie prostaty .....	20
2.3.2 Karcinom prostaty .....	20
2.4 Magnetická rezonance .....	24
2.4.1 Historie MR .....	24
2.4.2 Základní princip magnetické rezonance .....	25
2.4.3 Generování MR signálu a jeho zpracování.....	28
2.4.4 Zobrazovací sekvence.....	29
2.4.5 Přístrojové komponenty MR.....	31
2.4.6 Artefakty obrazu MR.....	32
2.4.7 Indikace MR .....	32
2.4.8 Kontraindikace MR .....	33
2.4.9 Kontrastní látky .....	34
2.4.10 Příprava pacienta na vyšetření MR.....	35
2.5 Populační pilotní program časného záchytu karcinomu prostaty .....	36
3 Výzkumná (praktická) část .....	37

3.1	Využití magnetické rezonance pro karcinom prostaty .....	37
3.2	Postup vyšetření prostaty na MR .....	38
3.2.1	Kontraindikace spojené z použití Buscopanu .....	39
3.2.2	Kontraindikace spojené z použitím Dotaremu .....	39
3.3	PI-RADS 2.1 hodnotící systém .....	39
3.4	Dělení PI-RADS 2.1 scóre .....	40
4	Metodika výzkumné (praktické) části .....	41
4.1	Hypotézy .....	41
4.2	Charakteristika výzkumného souboru .....	41
4.3	Sběr dat .....	41
4.4	Analýza dat .....	41
4.5	Výsledek .....	41
4.5.1	Četnost respondentů .....	43
4.5.2	Věk respondentů .....	43
4.6	Hodnocení výsledků .....	45
5	Diskuze .....	46
6	Závěr .....	48
7	Použitá literatura .....	49
7.1	Knižní zdroje .....	49
7.2	Internetové zdroje .....	49
7.3	Odborné články .....	51
7.4	Bakalářské práce .....	51
7.5	Prezentace .....	52
8	Přílohy .....	53

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - Zónová anatomie prostaty (ACR - ESUR - AdMeTech, 2019, s. 31) .....	18
Obrázek 2 - Anatomie prostaty (Kluwer, 2022) .....	19
Obrázek 3 - Gleasonův histopatologický grading karcinomu prostaty (Hanuš, 2015, s. 101) .....	22
Obrázek 4 - T kategorizace u TMN klasifikace nádorů prostaty: T1 - Nádor identifikovatelný pouze na základě biopsie, T2 - nádor ohraničený prostatou, T3 - nádor přerůstající přes pouzdro prostaty, T4 - nádor infiltruující okolní orgány (Hora, 2020 ,67s).....	24
Obrázek 5 - Přehled vývoje aplikací NMR spektrometrie v různých periodách minulého století (Brus et Kříž, 2007) .....	25
Obrázek 6 - Rozložení protonů (Nekula et al., 2009).....	26
Obrázek 7 - Podélná relaxace T1 po aplikaci 90° RF pulzu, relaxace je charakterizována T1 časem (Beneš et al., 2022) .....	28
Obrázek 8 – Příčná relaxace T2 charakterizována T2 časem, kdy příčná složka magnetizace poklesla na 37% původní hodnoty (Beneš et al., 2022).....	28
Obrázek 9 - Znázornění k-prostoru s principem zpětné Fourierovy transformace a výpočetní velikosti pixelu podle pole pohledu FOV a skenované matice obrazu při 100% plnění k – prostoru (Pleva et al, 2012).....	29
Obrázek 10 - Komponenty magnetické rezonance (Pleva et al, 2012).....	32
Obrázek 12 - Klasifikace PI-RADSTMv.2 pro periferní zónu a pro tranzitní zónu (Kudláčková et al., 2017) .....	37
Tabulka 1 - TMN klasifikace karcinomu prostaty (Hanuš, 2015, 103 s) .....	23
Tabulka 2 - Kategorizace PI-RADS scóre (Kastner, 2017).....	40
Tabulka 3 - Doporučování biopsie při hodnocení PI-RADS (Kastner, 2017).....	40
Tabulka 4 - Zaznamenaná data z výzkumu .....	42
Tabulka 5 - Přehled věku respondentů a počet zastoupení respondentů dle věku.....	43
Tabulka 6 - Přehledová tabulka dle Tabulky 6 .....	44
Tabulka 7 - Souhrn výsledků z 50 zkoumaných respondentů .....	44

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ADC	aparentní difúzního koeficientu
$B_0$	síla magnetického pole
BHP	benigní hyperplazie prostaty
BRCA1	breast cancer, tumor supresorové geny
BRCA2	breast cancer, tumor supresorové geny
CT	výpočetní tomografie
DCE	gradientní sekvence
DWI	Diffusion Weighted Imaging, difúzní vážené sekvence
E short	rychlá sekvence
EKG	elektrokardiogram
F short	rychlá sekvence
FaSE	fast spin echo
FFE	fast field echo
FID	volný indukční rozpad, free induction decay
FLAIR	fluid attenuated inversion recovery
FLASH	fast low angle shot
fPSA	volný prostatický specifický antigen
GE	gradientní echo, gradient-echo
GRE	gradientní echo, gradient-echo
GS	Gleasonovo skóre
KL	kontrastní látka
KP	karcinom prostaty
M	metastázy, metastatické postižení

MHz	megahertz
mp-MRI	multiparametrická magnetická rezonance
MR	magnetická rezonance
Multi shot SE	rychlá sekvence registrující data po každé existenci pouze části k-prostoru
N	nodus, spádové mizní uzliny
ng/ml	udává váhové jednotky v 1 mililitru krve
NMR	nukleární magnetická rezonance
NSF	nefrogenní systémová fibróza
PET/CT	pozitronová emisní tomografie
pH	potential of hydrogen, potenciál vodíku
PHI	prostate healt index
PI-RADS 2.1	prostate imagining reporting and data systém verze 2.1
PI-RADS	prostate imagining reporting and data systém
proPSA	proenzymová forma prostatického specifického antigenu
PSA	prostatický sérový antigen
RF	radiofrekvenční pulz
SE	sekvence spinového echa
STIR	short tau inversion recovery
SWI	Susceptibilitně váhované magnetickorezonanční zobrazování
T	Tesla
T	tumor
T1	podélná relaxační konstanta, longitudinal relaxation rate
T1W	T1 vážený obraz
T2	příčná relaxační konstanta, transverse relaxation rate

T2*	T2 vážený
TE	echo čas, time to echo
tj.	to jest
tPSA	celkový prostatický antigen
TR	repetiční čas, time to repetition
tzv.	takzvaně
UZ	ultrazvuk
$\gamma$	gyromagnetická konstanta
$\omega$	rychlost otáčení

## ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá zobrazováním karcinomu prostaty pomocí magnetické rezonance. Dle Ústavu zdravotnických informací a statistik ČR: „*Nejčastějším zhoubným novotvarem v roce 2021 u mužů byl zhoubný nádor prostaty, který tvořil 24,9 % všech nových onemocnění zhoubných nádorů u mužů.*“ (Krejčí et al., 2021, s. 15) V roce 2021 na karcinom prostaty zemřelo 1 400 mužů. Přibývající incidence výskytu tohoto onemocnění může nastávat se zvyšující se průměrnou délkou života a zdokonalováním českého zdravotnictví dřívějším zachytem či modernějšími diagnostickými metodami (Krejčí et al., 2021).

Magnetická rezonance se v poslední době stala jednou z hlavních zobrazovacích modalit u karcinomu prostaty. Magnetická rezonance nepoužívá ionizující záření, čímž umožňuje nulovou radiační zátěž pro pacienta. Dokáže velice dobře a detailně zobrazit měkké tkáně. Díky moderním vyšetřovacím metodám, dokáže určit přesná místa, kde se případný tumor v prostatě nachází. To umožňuje lepší staging a lokalizaci onemocnění pro další léčebné modalit jako je například biopsie. Cílem této bakalářské práce je výzkum, dále zjištění a zhodnocení ze zdravotní dokumentace, zda magnetická rezonance dokáže a je schopna identifikovat suspektní ložiska z tumorózní etiologie. K identifikaci ložisek z jednotlivých vyšetření slouží hodnotící systém nazvaný PI-RADS 2.1, který slouží radiologovi k zhodnocení výsledku vyšetření prostaty na magnetické rezonanci. Dalším cílem výzkumu je zjistit, zda ložiska, opatřena popisem radiologa jako PI-RADS 4 a PI-RADS 5, budou následně pomocí biopsie histologicky ověřena jako tumor či nikoliv. V neposlední řadě dílčím cílem bakalářské práce je dodržet veškeré zásady při používání kontrastní látky během vyšetření prostaty v magnetické rezonanci.

Tato bakalářská práce by měla více přiblížit závažnost tohoto onemocnění a představit nové možnosti pro včasný záchyt v populaci. Bakalářská práce poukazuje na nové a populární metody diagnostiky karcinomu prostaty a jeho systém hodnocení.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. Teoretická část se skládá z 5 dílčích kapitol. Poukazuje na anatomii a fyziologii prostaty. Upozorňuje na nejčastější onemocnění prostaty, kdy největší důraz je kladen na karcinom prostaty. Nadále se zde zabývá diagnostickým přístrojem magnetickou rezonancí, přesněji její historií, základními principy zobrazování, druhy používaných sekvencí, hlavními přístrojovými součástmi, přípravou pacienta na vyšetření na MR či různými artefakty obrazu MR, kontraindikací a použitím kontrastních látek při vyšetření. V neposlední řadě je zde zmíněn pilotní program zachytu karcinomu prostaty v ČR. Praktická část se zabývá průběhem vyšetření pacientů na MR, který

je zde popsán, a práci se zdravotní dokumentací. Dále se zabývá tématy souvisejícími s výzkumem, jako je hodnotící systém PI-RADS, dělení kategorizace PI-RADS 2.1 skóre. Je zde vysvětlen výzkum práce a popsána metodika s ním spojená.

# **1 CÍLE A METODY PRÁCE**

## **1.1 Cíl práce**

Cílem teoretické práce bylo popsat problematiku prostaty a vyšetření na magnetické rezonanci.

Průzkumným cílem je výzkum a zjistit, zda bude magnetická rezonance z výsledku vyšetření schopna identifikovat suspektní ložisko z tumorózní etiologie.

Dílčím cílem je zjistit, zda histologicky ověřená ložiska typu PI-RADS 4 a PI-RADS 5 budou tumor z popisu radiologa v PI-RADS 2.1.

Cílem je posoudit užitečnost vyšetření, provést výzkum a zhodnotit, zda výsledky vyšetření prostaty v magnetické rezonanci u diagnózy karcinomu prostaty, budou dostatečná pro identifikování karcinomu prostaty.

## **1.2 Metody k dosažení cíle**

K dosažení cíle byla použita dokumentace k analýze dat u výběru pacientů s karcinomem prostaty. Výsledky následně budou analyzovány a porovnány s relativními zdroji literatury. K dosažení cíle bude sloužit sběr dat při vyšetření na magnetické rezonanci a následný popis vyšetření radiologem v PI-RADS 2.1. Toto umožní získat potřebné informace pro dosažení požadovaných výsledků.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

Karcinom prostaty u mužů byl v roce 2018 považován za nejčastější zhoubný novotvar, který tvořil 25 % všech nových onemocnění zhoubnými novotvarů u mužů. V rámci onkologických diagnóz u mužů se jednalo o 3. nejčastější příčinu úmrtí a to okolo 9 %. Zobrazování prostaty pro určení karcinomu prostaty na magnetické rezonanci začíná být v dnešní době více používané. Se silou 3 T v multiparametrickém režimu dokáže magnetická rezonance detekovat karcinom prostaty, jeho velikost i jeho polohu. Toto zobrazení se využívá v symbióze s transrektální sonografií, což nám napomáhá při rozhodování o provedení dalších biopsií prostaty. Díky fúzi obrazu nám to umožní odebrat vzorky přímo z podezřelých míst. První část bakalářské práce je zaměřena na problematiku prostaty, karcinomu prostaty, magnetickou rezonanci a spojitost magnetické rezonance s biopsií prostaty při určování karcinomu prostaty.

### 2.1 Anatomie prostaty

Prostata, neboli předstojná žláza, je přídatná pohlavní žláza u muže. Nachází se v malé pánvi, uložená kolem začátku močové trubice. Její tvar můžeme popsat jako komolý, předozadně mírně oploštělý kužel, obrácený bazí vzhůru k močovému měchýři. Velikostně si jí můžeme také představit jako kaštan. Váží okolo 20 gramů, avšak s přibývajícím věkem se její váha může navyšovat. Její zvětšení však může přinášet komplikace, například poruchy funkce močení (Čihák, 2013; Rusín, 2018).

Prostatu můžeme rozdělit na tři části. Těsně k močovému měchýři naléhá *basic prostaticae* (baze prostaty), do baze se vtlačuje *cervix vesicae*. Dopředu a dolů směřuje *apex prostaticae* (hrot prostaty), který dosahuje *diaphragma urogenitale*. Najdeme zde úsek od baze k apexu, kde probíhá močová trubice. Poslední částí jsou *pars prostatica uretrae*, odkud uretra poté pokračuje již samostatně. Díky tomu můžeme rozlišit *preurethrální* a *retrourethrální* část prostaty. Povrch prostaty tvoří vazivový obal *capsula prostatica*, který obsahuje dvě vrstvy vaziva. *Capsula propria* je pevně srostlá vazivem a s hladkou svalovinou prostaty. Zvenčí na ní naléhá *plexus venosus prostaticus*. Dále kapsula *periprostatica*, tvořena hustým vazivem, které obaluje zvenčí prostatu i společně s *plexus prostaticus*.) Současně ji poutá k okolí (Čihák, 2013; Elišková et al. 2006).

Podle vývoje skupin žláz rozlišujeme na prostatě laloky *lobi prostaticae* a *lobuli prostaticae*. *Lobi prostaticae* se dělí na *lobus medius*, *lobus dexter et sinister* a *lobuli prostaticae* se dělí na *lobulus superolateralis*, *lobulus anteromedialis*, *lobulus inferoposterior* a *lobulus inferolateralis*. Tyto laloky však můžeme rozlišit pouze ve stádiu vývoje, a proto v základě se rozlišují na

postranní úseky (lobus dexter et sinister), střední část (isthmus prostatae) a lobus medius (Čihák, 2013).

### **2.1.1 Makroskopická a mikroskopická stavba**

Prostata má 30–50 tuboalveolárních žlázek, jež se zanořují ve stromatu, které je tvořeno spleť vaziva a hladké svaloviny. Tyto žlázy tvoří prostatický sekret, který je při ejakulaci vypuzován do močové trubice, jejíž objem tvoří 30 % ejakulátu. Žlázy jsou vystlány epitelem jednořadým až víceřadým s plochými až vysokými cylindrickými buňkami. Stav epitelu je podmíněn věkem, sekreční aktivitou a hormonální stimulací. Cylindrické vysoké buňky jsou vlastní činné žlázné buňky, které mají sekreční granula a vakuoly. Jak jsem již zmiňovala, část předního úseku prostaty je při střední čáře tvořena pouze svalovinou hladkou či vazivem. Hladká svalovina ve stěně prostatického úseku uretry nad colliculus seminalis navazuje na svalovinu krčku vesica urinaria a kontrahuje se při ejakulaci (Elišková et al., 2006; Čihák, 2013).

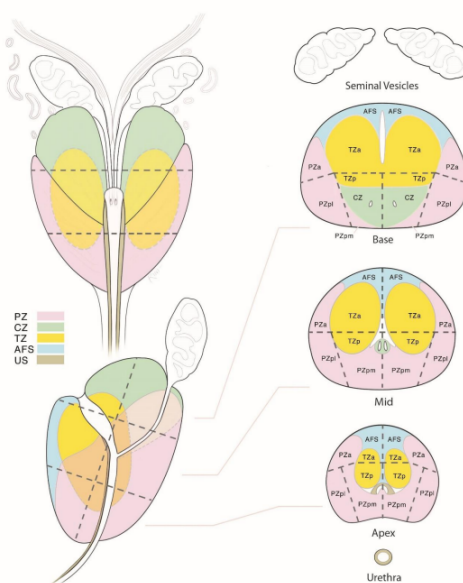
### **2.1.2 Zónová anatomie**

Zónová anatomie je jednou z hlavních používaných forem v segmentačním modelu PI-RADS v2.1. Segmentační model PI-RADS v2.1 slouží k hodnocení stavu prostaty pro znázornění její ideální struktury. Využívá k tomu mapu, která rozděluje prostatu na různé zóny a sektory. Využívá se z toho důvodu, jelikož u jednotlivých pacientů může dojít k zvětšení prostaty či její atrofii a to může vést k nejasnostem na snímcích magnetické rezonance. V takových případech se vedle písemné zprávy poskytuje i sektorová mapa pro lepší lokalizaci problémových oblastí (ACR – ESUR – AdMeTech, 2019).

Celkově je mapa rozdělena na 41 sektorů, z toho 38 oblastí, kdy zde najdeme dvě oblasti pro semenné vajíčky a jeden k zevnímu svěrační močové trubice. Prostatu si můžeme rozdělit na 4 základní zóny a to na přechodnou, centrální, přední fibromuskulární stroma a periferní. Nejobjemnější z nich je periferní. Obsahuje totiž 75 % dlouhých a rozvětvených žláz, které dosahují až k povrchu zadní plochy prostaty a pokračují až dopředu po laterálních plochách prostaty. Na transverzálním řezu má zóna tvar podkovy a je ventrálně otevřená. Žlázy prostaty zaujímají 70 % a produkují největší část sekretu. Mohou být zdrojem pro maligní buňky, na jejichž podkladě může vzniknout karcinom prostaty. Pravděpodobnost vzniku v periferní zóně je nejvyšší, okolo 70-75 %. Centrální zóna, neboli její vnitřní část, obsahuje podslizniční vazivo, které tvoří 25% objemu prostaty. Zaujímá oblast okolo ductus ejakulatorii od baze prostaty po hrbolek colliculus seminalis. Přechodná třetí zóna patří mezi nejméně objemnou. Tvoří jí pouze okolo 5% žláz. Najdeme jí okolo uretry v úseku nad colliculus seminalis. K této

zóně také patří žlázy ležící periurethrálně ve sliznici urethry. V přechodné části je pravděpodobnost vzniku karcinomu prostaty okolo 25 %. V předním fibromuskulárním stromatu je část tkáně na přední straně prostaty, ale tato tkáň neobsahuje žlázovou tkáň (Elišková et al., 2006; Loenhout et al., 2023; Pernický et al., 2020).

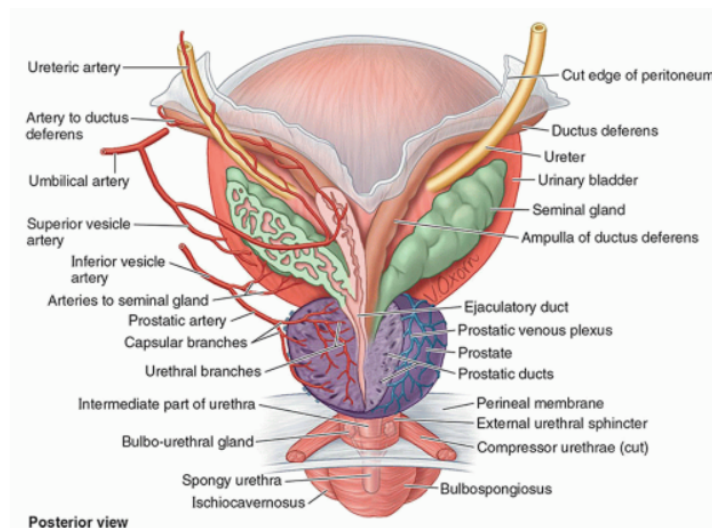
V sektorové anatomii je prostata na axiálních řezech rozdělena na pravou a levou stranu pomocí svislé čáry, která prochází středem prostaty (označeným prostatickou močovou trubicí), a na přední a zadní část pomocí vodorovné čáry, která prochází středem žlázy. Periferní zóna (PZ) na bázi prostaty, uprostřed žlázy a na jejím vrcholu je dále rozdělena na tři části: přední, mediální zadní a laterální zadní. Stejně tak i přechodová zóna (TZ) je na bázi, uprostřed a vrcholu prostaty rozdělena na přední a zadní část. Přední fibromuskulární stroma (AFS) je také rozdělena na pravou a levou část u báze, uprostřed a apexu prostaty. Semenné váčky (SV) jsou rovněž rozděleny na pravou a levou část (Loenhout et al., 2023).



**Obrázek 1** - Zónová anatomie prostaty (ACR - ESUR - AdMeTech, 2019, s. 31)

### 2.1.3 Cévní zásobení prostaty

Cévní zásobení prostaty nám zajišťují tepenné větve zezadu a ze strany arteria rectalis media a arteria vesicalis inferior a ze středu z dolní arteria pudenda interna. Žilní zásobení nám tvoří plexus, na povrchu žlázy prostaticus internus, odkud krev nazpět odtéká do vena iliaca interna. Mohou se zde objevovat i přídatné větve z arteria obturatoria (Elišková et al., 2006).



**Obrázek 2** - Anatomie prostaty (Kluwer, 2022)

## 2.2 Prostata a její funkce

Hlavní funkcí prostaty je dodávání sekretu do ejakulátu muže. Prostata obsahuje žlázy, které při ejakulaci muže společně se spermiemi uvolní sekret seminálních váčků. Tento sekret je bezbarvý, tekutý. Jeho pH je okolo 6,4. Obsah seminálních váčků obsahuje výživné látky, jako je fruktóza, hormony prostaglandiny, kyselinu citrónovou, imunoglobuliny, zinek v glykoproteinovém komplexu, polyaminy jako je spermin a spermidin, kyselinu fosfátovou a proteasy, napomáhající spermiím k pohybu. Produktem prostatických žlázek je mléčně zakalená tekutina obsahující fosfátové a vápníkové ionty, profibrinolysin a fibrinogen. Metabolismus testosteronu v prostatě ovlivňuje zinek, mimo to se v komplexu přikládá na buněčnou membránu spermií proteasy, působící řídnutí ejakulátu. Prostata je senzitivní na hormony, jako ostatní přídatné pohlavní orgány. Testosteron se ve stromatu žlázy předstojné mění pomocí 5- $\alpha$ -reduktasy v účinnější formu dihydrotestosteronu. Z prostaty tvoří sekret v ejakulátu okolo 15-30 %. Celkový objem ejakulátu je okolo 2,5-4,5 ml. Další podstatnou částí objemu jsou spermie a sekret vas deferens, okolo 10 %, dále 60 % sekret semenných váčků a hlenu, bulbouretrálních žlázek (Kittnar et al., 2020; Čihák, 2013; Hora 2020).

## 2.3 Nejčastější onemocnění prostaty

U většiny mužů dochází k hypertrofii nad 40 let věku života. Od 70 let věku již u 75 % mužů můžeme histologicky prokázat výskyt uzlíků benigní hyperplazie prostaty. Polovina z nich má zvětšenou prostatu makroskopicky, při vyšetření per rektum, a čtvrtina má jen potíže subjektivní. K dalším nejčastějším onemocněním patří karcinom prostaty. KP patří v České republice mezi nejčastější zhoubné nádory urologického systému, okolo 23,2 %, ze všech zhoubných nádorů. V roce 2016 incidence tohoto onemocnění byla 140,67 na 100 000 mužů,

což znamenalo 7 305 nových onemocnění a zemřelo na něj 1578 mužů (nzip, 2024; Hora et al., 2020).

### **2.3.1 Benigní hyperplazie prostaty**

Je nezhoubné onemocnění předstojné žlázy vzniklé hyperplazií stromálních a epitelových buněk. K zvětšení buněk dochází převážně v tranzitorní zóně prostaty, okolo uretry. Z tohoto důvodu dochází při progresu BHP ke zmenšování průsvitu prostatické části uretry a ovlivnění vyprazdňování moče z močového měchýře. Vývoj tohoto onemocnění přichází s časem dlouholetého růstu a proto se hned nemusí projevovat mikčnými potížemi. Jeho symptomy jsou variabilní a vychází z nespecifických projevů dolních cest močových (Hanuš et al. 2015; Hora et al., 2020).

### **2.3.2 Karcinom prostaty**

Jedná se o maligní nádor nejčastěji typu adenokarcinom, okolo 95 %, který vznikl z epitelu žlázy nejčastěji z periferní zóny prostaty. Mezi ostatní možné zhoubné formy patří malobuněčný, sarkomatoidní, dláždícobuněčný, mucinózní a intraduktální karcinom, z nádorů přechodného epitelu a mezenchymové tumory (nzip, 2024, Hora et al., 2020).

#### **2.3.2.1 Symptomatologie**

Ve většině případů bývá asymptomatický. Nejčastěji se objeví obstrukční symptomy z dolních cest močových: polyurie, recidivující uroinfekce, hematurie či polakizurie. Pokud se onemocnění více rozvíjí, objevují se metastázy, mohou se objevit bolesti pohybového aparátu, únava, hubnutí, slabost, hemosperm, anemizace, otok dolních končetin nebo zevního genitálu, patologické zlomeniny, neurologické příznaky a jiné (Hanuš et al., 2015; Vorlíček, 2012).

#### **2.3.2.2 Rizikové faktory**

Jak už bylo řečeno, riziko onemocnění stoupá s věkem. Dalším faktorem je genetická mutace v rodině BRCA1 a BRCA2. Muži s touto mutací mají vyšší pravděpodobnost výskytu onemocnění a také agresivnější typ nádoru. Rakovinné buňky adenokarcinomu jsou závislé na mužském pohlavním hormonu testosteronu a ovlivňují jeho produkci. Dalším rizikem je černá lidská rasa. Pokud nastávají metastázy, šíří se pelvickým lymfatickým systémem, dále do semenných váčků, rekta, močového měchýře a hematologicky do kostí. K zjištění šíření rakovinných buněk slouží onkomarker PSA, který karcinom prostaty produkuje (Vorlíček, 2021).

### 2.3.2.3 Diagnostika

Existuje několik způsobů, jak můžeme na karcinom prostaty přijít. Jednotlivá vyšetření se vzájemně doplňují a postupně si je tady představíme.

Jedním z diagnostických způsobů je fyzikální vyšetření per rektum. Při včasných nálezech je hmatatelný lehký uzlík, při větším rozsevu je nádor tvrdý a prostata je uzlovitá (Vorlíček, 2021).

U zobrazovacích metod lze využít transrektální ultrazvuk, kdy se pomocí specializované sondy zavede do konečníku ultrazvuk pro vyšetření prostaty. Dále MR, která je výhodná k určení pokročilosti lokálních částí. K zobrazení se využívá i moderní multiparametrická 3T MR s difúzním vážením k lokalizaci tumorů prostaty hodnotící se v PI-RADS v.2.1. Pro diagnostiku je v tomto ohledu lepší a vítěznější než vyšetření CT. CT je výhodné pro zobrazení postižení lymfatických uzlin v malé pánvi. Pokročilá stádia mohou způsobit osteoblastické metastázy ve skeletu, proto jej můžeme doplnit scintigrafií skeletu díky velké senzitivitě (Vorlíček, 2021; Kopecký, 2015; Kudláčková et al., 2017).

V laboratorním vyšetření hodnotíme především antigen PSA (sérový prostatický specifický antigen). Je to orgánový specifický marker pro prostatu, nevztahuje se jen na karcinom, ale jeho hodnota se při něm zvyšuje. PSA je glykoprotein vytvářený epitelovými buňkami v prostatických žlázách. U každého zdravého muže je PSA přítomna v malé míře. PSA se může preventivně odebírat u asymptomatických mužů s poruchami močení z krve. Při průkazu zvýšené hladiny poukazuje na možné onemocnění prostaty, jako je například rakovina prostaty či hyperplazie prostaty, a to je důležité doplnit dalšími vyšetřeními. Obecně se hladina PSA zvyšuje i u jiných onemocnění. Odběr krve je důležité odebrat před vyšetřením per rectum, ale i po něm, po cévkování nebo i biopsii, jelikož se hladina PSA zvyšuje. Normální hodnota PSA v lidském těle je v rozmezí <2,5 až 4ng/ml. Se zvyšující se hodnotou markeru se pravděpodobnost výskytu karcinomu prostaty zvyšuje. Ke zvýšení specifity se používá nově PHI (prostate health index). Vypočítává se z hladiny fPSA, tPSA a proPSA. PHI má větší specifitu a senzitivitu v diagnostice karcinomu prostaty při hladinách dosahujících v PSA 2,0-10,0 ng/ml než při stanovení volného fPSA a celkového tPSA a jejich poměru. Umožňuje nám predikci agresivity karcinomu a volbě správného postupu. To napomáhá k menší indikaci zbytečných biopsií a méně diagnostikovaných karcinomů prostaty. Dalším laboratorním vyšetřením je krevní obraz, alkalická fosfáta neboli marker, značící kostní postižení (Vorlíček, 2021; Kopecký, 2015; Hora et al., 2020).

Z hlediska histologického vyšetření sem patří biopsie, která je vedená transrektální ultrazvukem. Umožňuje nám provádět biopsii jednotlivých struktur prostaty obou laloků. Zapotřebí je několik odběrů. Nádory dokáže zobrazit jen v malém procentu. Slouží nám k histologickému potvrzení diagnózy a je nutno ji provést před započatím léčby. Transrektální biopsie se provádí jehlou za ultrazvukové kontroly. Jehlou se vyřízne vzorek tkáně. Dřívější metoda fungovala na principu tzv. systematické biopsie, kdy se z periferních částí obou laloků vějířovitě odebralo okolo 10 až 12 vzorků při sonografické kontrole. Nejnovější metoda je fúzní biopsie prostaty. Cíleně se pod ultrazvukovou kontrolou bioptují suspektní tumorózní ložiska zobrazená při MR. Po paměti urolog bioptuje ložiska na základě nastudování z MR tzv. kognitivní fúze nebo díky softwaru, který dokáže sloučit obraz z ultrasonografie s MR. Často se kombinuje fúzní biopsie se systematickou. Některé formy karcinomu jsou zjištěny náhodně při odstranění celé prostaty a semenných váčků při dřívější indikaci BPH (Kopecký, 2015; Vorlíček, 2021; Kudláčková et al., 2017; Belej, 2009).

#### 2.3.2.4 Gleasonův grading u karcinomu prostaty

Hodnocení závažnosti tumorů a jejich stupně diferenciace vychází ze systému Gleason score. Gleasonův systém je speciálně navržený systém hodnocení histopatologický grading pro prostatu. Hodnotící klasifikace závažnosti tohoto onemocnění má 5 stupňů. První stupeň je nejpříznivější, a naopak pátý stupeň poukazuje na nejagresivnější verzi nádoru. K získání Gleasonova skóre (GS) se sčítají dva nejčastější stupně a celkový součet je v rozmezí 2 až 10. Výsledné číslo nám ukáže hodnotu závažnosti onemocnění, kdy nízko rizikové je v rozmezí GS 2 až 6, středně rizikové GS 7 a do vysoce rizikových zahrnujeme GS 8 až 10 (Hanuš et al., 2015; Hora et al., 2020).



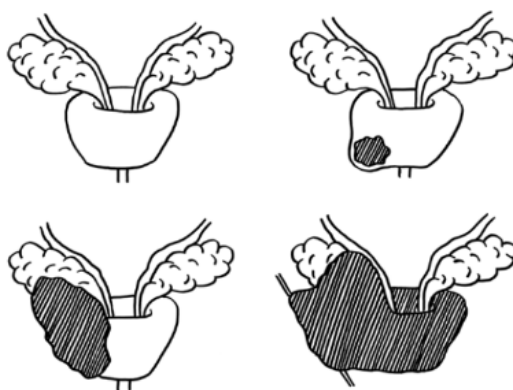
**Obrázek 3** - Gleasonův histopatologický grading karcinomu prostaty (Hanuš, 2015, s. 101)

### 2.3.2.5 TNM klasifikace

„Představuje jeden ze základních mezinárodních klasifikačních systémů pro onkologii. Tato klasifikace slouží k popisu anatomického rozsahu solidních nádorových onemocnění v místě primárního nádoru (T), v oblasti spádových mizních uzlin (N) a v místech vzdáleného orgánového metastatického postižení (M). Celkový rozsah zhoubného nádorového onemocnění je souhrnně klasifikován pomocí konkrétních hodnot pro T, N a M. Z hodnot T, N a M je následně určeno tzv. klinické stadium onemocnění.“ (ÚZIS, 2017) Po analýze vzorku tumoru z biopsie se provádí staging tumoru, kdy z CT či MR se stanoví rozšíření postižených lymfatických uzlin (N). Jako doplňková vyšetření můžeme udělat rentgen plic, laboratorní či ultrazvukové vyšetření jater, pokud by nebylo provedeno CT. Dále se doplňuje laboratorním vyšetřením antigenu PSA. Doprovodně se u podezření na metastázy ve skeletu dělá scintigrafie skeletu s difosfonáty se značenými  $^{99m}\text{Tc}$ , avšak to nemusí být tak senzitivní, proto se může volit stagingové vyšetření scintigrafie skeletu v PET/CT s radiofarmakem  $^{18}\text{F}$ -fluoromethylcholin (Hanuš et al., 2015; Ptáčník et al., 2016).

Tabulka 1 - TMN klasifikace karcinomu prostaty (Hanuš, 2015, 103 s)

<b>T1</b>	<b>Nehmatný, nezobrazitelný nádor</b>
T1a	náhodný nález při jiném výkonu $\leq 5\%$ tkáně
T1b	náhodný nález při jiném výkonu $\geq 5\%$ tkáně
T1c	zjištěn při biopsii prostaty na základě elevace PSA
<b>T2</b>	<b>Omezen na prostatu</b>
T2a	polovina jednoho laloku
T2b	polovina jednoho laloku
T2c	postižení obou laloků
<b>T3</b>	<b>Šíření přes pouzdro prostaty</b>
T3a	extrakapsulární šíření
T3b	postižení jednoho nebo obou semenných váčků
<b>T4</b>	<b>Fixace/postižení okolních struktur: zevní svěrač, rektum, levátory, pánevní stěna</b>
<b>N1</b>	<b>Postižení regionální mizní uzliny/ mizních uzlin</b>
<b>M1</b>	<b>Vzdálené metastázy</b>
M1a	postižení jiných než regionálních mizních uzlin
M1b	postižení skeletu
M1c	postižení jiných lokalizací



**Obrázek 4** - T kategorizace u TMN klasifikace nádorů prostaty: T1 - Nádor identifikovatelný pouze na základě biopsie, T2 - nádor ohraničený prostatou, T3 - nádor přerůstající přes pouzdro prostaty, T4 - nádor infiltrující okolní orgány (Hora, 2020, 67 s.)

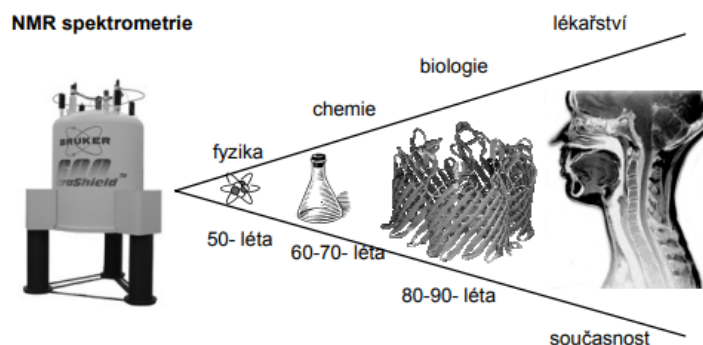
## 2.4 Magnetická rezonance

Magnetická rezonance je zobrazovací metoda, která je využívána pro zobrazení jednotlivých tkání a to na základě změn magnetických momentů atomových jader vodíku v těle pacienta. Magnetická rezonance nevyužívá ionizující záření, díky tomu je radiační zátěž pro tělo nulová. MR je skvělou volbou především pro zobrazení a posouzení morfologie měkkých tkání a to míchy, šlach, svalů, kloubů, mozku a dalších orgánů.

### 2.4.1 Historie MR

K rozvoji MR došlo během 2. světové války. První poznatky o fungování vnitřního momentu hybnosti protonu, tedy jeho spin, poprvé nastínil Wolfgang Pauli prostřednictvím čtvrtého kvantového čísla v roce 1924. Byl za to oceněn v roce 1945 Nobelovou cenou. O rok později interpretovali toto kvantové číslo jako spin pánové Samuel Goudsmit a George Uhlenbeck. Avšak velkou podstatu základům kvantové fyziky dal Albert Einstein kvantovou mechanikou (\*1879-†1955, Nobelova cena 1921). To napomohlo ke Planckovým objevům kvantování světa a položení základů NMR spektrometrie. Průkopníkem s první manipulací s jaderným spinem byl Isidor Isaak Rabi. V roce 1944 byl rovněž oceněn Nobelovou cenou. V roce 1946 naměřil Felix Bloch první signál atomů vodíku v molekule vody. Společně s Millcem Purcellem získal v roce 1952 Nobelovu cenu za tuto oblast. Velkým průkopníkem v této oblasti a kdo vypracoval vztahy převádějící funkce v časové oblasti do oblasti frekvenční, byl Jean Baptista Joseph Fourier. Takzvaně Fourierova transformace vychází z předpokladu, že každý signál lze vyjádřit jako superpozici nekonečně mnoha sinusových signálů. Díky této proceduře dokážeme získávat radiační frekvenční spektrum. Fourierovy transformace využil Richard R. Ernst k převedení volně doznívající indukce do podoby frekvenčního nukleárního magnetického spektra. Tyto

jednotlivé signály lze přiřadit v molekule ke strukturním jednotkám a k jednotlivým atomům. V roce 1991 dostal Richard R. Ernst Nobelovu cenu za chemii. Od poloviny 60. let se NMR stala nedílnou součástí chemie a díky návrhu prvního dvou-dimenzionálního experimentu v roce 1970 se toto odvětví začalo rychle rozvíjet (Brus et al, 2007; Maslikiewicz, 2010).



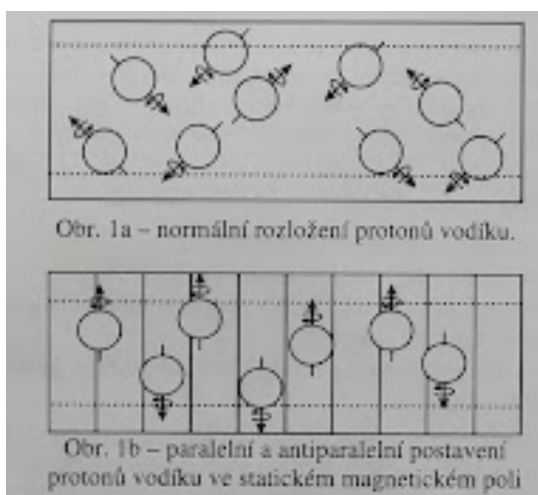
**Obrázek 5** - Přehled vývoje aplikací NMR spektrometrie v různých periodách minulého století (Brus et Kříž, 2007)

## 2.4.2 Základní princip magnetické rezonance

Princip MR stojí na využití magnetických vlastností jader atomů prvků s interakcí s radiofrekvenčním magnetickým momentem. Jádra atomů se skládají z protonů, kladně nabitých, a neutronů, ty jsou bez náboje. Protony v jádře vykazují neustálý pohyb, kterému říkáme spin. Okolo každé pozitivně nabité částice atomu, která vytváří pohyb, pokud jej uložíme do okolí elektrického pole, vzniká magnetické pole. Pro MR jsou důležitá atomová jádra s lichým nukleonovým číslem, která navenek vykazují magnetický moment. Přesněji u všech izotopů s nenulovým magnetickým momentem. Jsou to izotopy, jejichž spinové kvantové číslo je rovno  $\frac{1}{2}$  násobku. Nejdůležitějším zástupcem je vodík, protože jeho jádro tvoří pouze jeden proton a v klinické praxi je nejvíce využíván, díky největšímu zastoupení v lidské tkáni. Tam se nachází ve všech organických sloučeninách, a především ve vodě, která je právě v biologických tkáních zastoupena. Vodík je v MR nejvíce citlivý, s porovnáním běžně zastoupených prvků, a má největší citlivost na změny fyzikálně-chemických vlastností vody, která dobře koreluje se změnami biochemických procesů v živé tkáni. Je ideálním prvkem, jelikož dokáže poskytnout až 1 000krát silnější signál v MR než ostatní prvky. Obvykle je to jediný prvek, který se v současné době používá při zobrazování (Ledrová, 2023; Pleva et al., 2012; Beneš et al., 2022; Nekula, 2009).

### 2.4.2.1 Magnetické vlastnosti jader

Každý určitý atom prvku vykazuje spin a má určitý elektrický náboj. Spin vytváří tzv. magnetický moment, který můžeme charakterizovat vektorem, tak jinak směrem a jeho velikostí. Orientace magnetických momentů závisí na teplotě a je zcela náhodná. Při umístění jader do vnějšího statického magnetického pole, dochází k jejich částečnému uspořádání dipólů a to paralelně a antiparalelně vzhledem k vnějšímu magnetickému poli. Tuto energii můžeme měnit díky možné schopnosti přijímat radiofrekvenční energii neboli impuls, který následně můžeme emitovat a navrátit do původního nízkoenergetického stavu. V normální tkáni to funguje tak, že jsou protony vodíku umístěny zcela nahodile a jejich magnetické momenty se navzájem ruší. Avšak umístíme-li je do silného statického magnetického pole, protony se uspořádají rovnoběžně do řady se siločarami magnetického pole. Výsledně to vypadá tak, že jedna část je postavena paralelně, druhá je o  $180^\circ$  otočena a je v postavení antiparalelním. V paralelní části je o minimum více protonů. Z jednoho milionu je to o tři až šest protonů více. Pokud jsou protony vystaveny tomuto poli, způsobuje to navíc takzvanou precesi. Jedná se o to, že protony vykazují rotační pohyb kolem své podélné osy a navíc v transverzální rovině po obvodu pomyslného kužele. Avšak nerotují synchronizovaně. I když se každý proton otáčí stejnou rychlostí po stejné kruhové dráze, v tomtéž okamžiku se nachází na jiném místě kruhu. Díky této vlastnosti emitování energie, která vychází ve vysokofrekvenčním vlnění, ji dokážeme zpracovat, zachytit a poté převést na výsledný obraz. Intenzita zevního statického magnetického pole  $B_0$  se vyjadřuje v jednotkách Tesla (T) a jeho intenzita se pohybuje v rozmezí 1,5-3 T v magnetické rezonanci (Nekula et al., 2009).



**Obrázek 6** - Rozložení protonů (Nekula et al., 2009)

Všechny magnetické momenty jednotlivých spinů tvoří celkový příspěvek, který nazýváme vektor magnetizace a vykonává precesní pohyb kolem osy statického magnetického pole.

Frekvence procesního pohybu závisí na tomto poli a na takzvaném gyromagnetickém poměru. Matematicky je definována Larmorovou rovnicí (1):

$$\omega = \gamma \cdot B_0 \quad (1)$$

kde,

$\omega$ – je rychlost otáčení

$\gamma$ – gyromagnetická konstanta

$B_0$ – síla magnetického pole

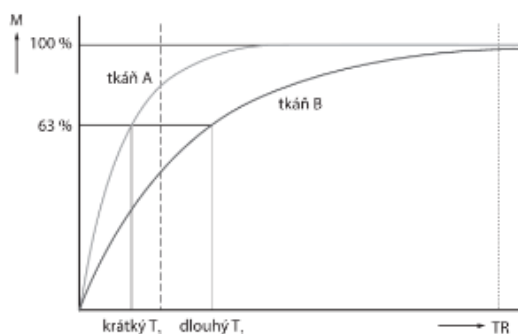
Při zobrazování daného orgánu, dané vrstvy, musí být frekvence statického magnetického pole stejná jako frekvence spinů v zobrazované tkáni. U celotělové MR je frekvence v rozmezí 0,8-80 MHz. Abychom dokázali změřit magnetický moment tkáni, musíme dodat protonu energii pomocí radiofrekvenčního impulsu, kterou udáváme ve stupních. Dojde k excitaci, kdy proton, který získal větší energii, zvyšuje svoji oscilaci. Změní se směr vektorů. Vektor se změní o tolik, kolik mu dodáme energie. Příkladem je dodání 90° RF pulzu, který dokáže sklopit magnetizaci z podélného směru do kolmého neboli příčné magnetizace o těch 90°. Dochází k tomu, kdy dlouhá osa protonů se vychýlí o 90° nebo až o 180°. Zdrojem tohoto pohybu je takzvaně podélná magnetizace. Pomocí vysílací cívky je prováděno vysílání radiofrekvenčního pulzu. Frekvence radiofrekvenčního impulsu musí odpovídat Larmorově frekvenci, jinak by protony vodíku nepřijaly dodanou energii. Z fyzikálního hlediska tomuto jevu říkáme rezonance. Vlivem RF pulzu protony začnou provádět synchronně precesi a to jim umožní mít magnetické momenty v jednom směru. Transverzální precesní pohyb se zvětšuje, je synchronní a dochází tím k tzv. příčné magnetizaci a naopak dochází k útlumu podélné rotaci (Nekula et al., 2009; Pleva et al. 2012; Malíková et al., 2022).

Po vypnutí 90° RF pulzu jsou magnetické momenty protonů v příčné fázi emitující RF vlnění. Toto vlnění můžeme snímat na povrchu vyšetřovaného těla pomocí přijímacích cívek. Rychlost jejich vracení z příčné roviny do zevního magnetického pole závisí na jejich T1 relaxaci a zároveň i na jejich relaxaci T2. Abychom mohli z tohoto vytvořit obrázky, musíme vzít zachycený signál na přijímacích cívkách a zjistit jejich prostorovou informaci, kterou by v sobě měly mít. Toho se docílí přijímáním RF pulzů a aplikací gradientů magnetického pole během vysílání. V praxi to docílíme uložením pacienta do velmi silného magnetického pole, kdy je do těla vyslán krátký radiofrekvenční impuls. Po jeho skončení se snímá signál, který vytvářejí právě jádra atomů vodíku v pacientově těle. Měří se při tom jejich energie, jak rychle se tyto

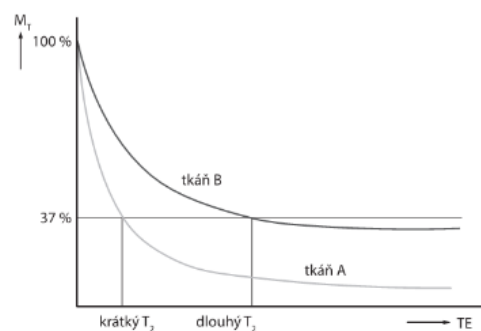
protony navracejí do původního stavu relaxace v různých tkáních. Intenzita signálu, která plynule uvolňuje energii, měřící se v tkáních, nazýváme FID. Tato intenzita se měří v mikro, milisekundách až sekundách. FID se převádí na cívce na povrchu těla na elektrickou energii a ta se měří. Matematickým principem se tomu říká Fourierova transformace. (Pleva et al., 2012; Nekula et al., 2009; Malíková et al., 2022)

#### 2.4.2.2 Relaxační časy

Rozlišujeme T1 a T2 relaxační časy, což jsou dva nezávislé procesy, probíhající současně v energii umožňující vytvoření rekonstrukce pro výsledný obraz. T1 čas je doba, za který podélná magnetizace dosáhne 63% původní velikosti od excitace. Je závislá na velikosti magnetického pole  $B_0$  a čím vyšší je  $B_0$ , tím delší je. Například voda má delší T1 než tuk. T2 čas je doba, za kterou příčná relaxace klesne na 37% původní hodnoty. Nastává s podélnou relaxací a je to relaxace příčné složky magnetizace. Vztah mezi relaxačními mechanismy časů T1 a T2 nastává současně. Tkáně s T1 časem mají krátký čas typicky jako T2 a totéž s dlouhým T1 časem mají i dlouhý T2. Obecně platí, že v tukové tkáni časy T1 a T2 jsou krátké, naopak v tkáni s vysokým obsahem vody jsou dlouhé (Pleva et al., 2012; Nekula, 2009).



**Obrázek 7** - Podélná relaxace T1 po aplikaci  $90^\circ$  RF pulzu, relaxace je charakterizována T1 časem (Beneš et al., 2022)

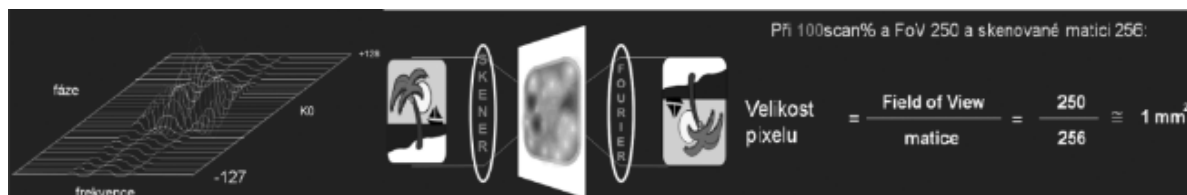


**Obrázek 8** - Příčná relaxace T2 charakterizována T2 časem, kdy příčná složka magnetizace poklesla na 37% původní hodnoty (Beneš et al., 2022)

#### 2.4.3 Generování MR signálu a jeho zpracování

Generování MR signálu a jeho zpracování pro získání obrazové informace z jednotlivých anatomických vrstev, funguje na principu určení prostorové magnetizace vyšetřované tkáně. To se uskuteční pomocí gradientních cívek, které dokážou vytvořit přídatné gradientní magnetické pole, a to se dokáže lineárně měnit dle směru. Díky prostorovému kódování signálu nám to umožní určit pozici voxelů. Zobrazovací sekvence vymezí vyšetřovací vrstvu selektivní excitací. Dále se provádí měření kódování frekvence a fáze signálu. Dostaneme datovou matici v raw datech, nazývaných k-prostor. K-prostor je prostor fázově frekvenčního kódování

signálových dat. V praxi je tvořen řádkem po řádku, či libovolnou trajektorií (Pleva et al., 2012).



**Obrázek 9** - Znáznornění k-prostoru s principem zpětné Fourierovy transformace a výpočetní velikosti pixelu podle pole pohledu FOV a skenované matice obrazu při 100% plnění k – prostoru (Pleva et al, 2012)

## 2.4.4 Zobrazovací sekvence

Magnetická rezonance při vyšetření pacienta pracuje v tzv. sekvencích. To znamená, že se v určitém pořadí opakují sekvence vysílání RF pulzů do těla pacienta, následný signál, který vychází z těla pacienta, se přijímá na přijímacích cívkách za spínání gradientních cívek. Po určitém čase, kdy budeme mít potřebné množství signálu na cívkách, tak jinak dat, můžeme vytvořit rekonstrukci obrazu pro vyšetřovanou vrstvu. Délka sekvence může trvat 20 sekund až 10 minut a pro rekonstrukci určité části těla, které se skládá z několik sekvencí, trvá vyšetření přibližně 15 až 50 minut (Malíková et al., 2022).

### 2.4.4.1 Základní typy sekvencí

Základní zobrazovací techniky pro získání sekvence rozlišujeme dvě, spinové echo a sekvence gradientního echa.

Sekvence spinového echa (SE) je charakterizována začínajícím 90° RF pulzem generující FID signál T2\*. Následuje 180° pulz provádějící refokusaci spinů. To vede k získání signálu spinového echa. Kolik řádků naměříme v k-prostoru, takzvaně kolik je řádků matice, tolikrát se bude celá sekvence pulzů opakovat. Dále si zde musíme definovat echo čas TE a repetiční čas TR. TE neboli time to echo, je čas mezi 90° pulzem a měřeným echem. TR čas neboli repetition time, je čas trvajícím k následnému 90° excitačnímu pulzu. Refokusační 180° radiofrekvenční pulz je v polovině TE aplikován a kontrast vzniklý v obraze, který je získaný technikou spin echo, vzniká určitou kombinací vlivu T1 a T2 relaxace. Ale díky správné příslušné volbě délky TR a TE můžeme dosáhnout převahy určitého vlivu. Příkladem je T1, T2 relaxace nebo proton density. Takové snímky jsou označovány poté jako T1 a T2 vážené obrazy spinového echa (Pleva et al., 2012).

Sekvence gradientního echa je zobrazovací sekvence, na které se podílí bipolární čtecí gradient. Jsou to sekvence GE, popřípadě GRE. Pro vytvoření echa nepoužívají 180° refokusační pulz.

Díky tomu zde nedochází ke kompenzaci nehomogenit magnetického pole a sekvence je T2\* vážená a umožní se zkrátit TR a to nám významně zkracuje dobu potřebnou pro získání výsledného obrazu. Hodnota excitačního RF pulzu je vždy menší než u SE, 15° až 60°, a menší TE. Toto nám může přinést zvýšenou náchylnost tvorby artefaktů v rozhraní tkání s odlišnou susceptibilitou. Gradientní echo nám umožňuje používat rychlejší zobrazovací techniky (Beneš et al., 2022; Pleva et al., 2012; Seidl et al., 2012).

U MR můžeme získat 3 různé typy výsledných obrazů. Toho můžeme docílit změnou nastavení parametrů sekvence buď akceptací či potlačením podílu T1 a T2 na vysílané obrázky. Rozeznáváme 3 základní sekvence SE: T1 vážený obraz, T2 vážený obraz a proton denzitní obraz. T1 vážený obraz má ve vyšetřované oblasti krátké TR i TE. Nazýváme ji krátká spin echo sekvence. T1 vážený obraz tkáně se převážně rozlišuje podle jejich T1 relaxace. To znamená, čím rychlejší T1 relaxace tkáně, tím je vyšší signál. Obrazy T1 váženého obrazu se podobají CT a solidní tkáně jsou spíše hypersignální než tekutiny. Intenzita signálu se podobá echogenitě ultrasonografie. Je přesná k anatomické verifikaci a je to jedna ze základních sekvencí z většiny vyšetření (Malíková et al., 2022; Nekula et al., 2009).

T2 vážený obraz má ve vyšetřovací oblasti dlouhé TR i TE. Jde o dlouhou spin echo sekvenci. T2 vážený obraz rozlišuje tkáně podle T2 relaxace. To znamená, čím je T2 relaxace rychlejší, tím je poté signál nižší. T2 vážený obraz má solidní tkáně hyposignální. Jelikož jsou T2 vážené obrazy dlouhé, může se u nich používat zrychlená T2 sekvence FaSE. T2 vážené obrazy jsou citlivější pro detekci vody, což má výhodu rychlejší prokazatelnosti patologických procesů jako je například edém. Je lepší v posuzování tkáňového rozhraní, například vazů v páteřním kanálku či likvoru. Naopak v posuzování všech anatomických struktur je jeho výpovědní hodnota nižší oproti T1. Proton denzitní obraz má dlouhé TR a krátké TE. Tento obraz nám ukazuje zastoupení atomů vodíkových jader ve vyšetřované vrstvě. Ve škále šedi na obrázku to znamená, čím více je tam zastoupeno atomů vodíku, tím vyšší je signál a na obrázku se to projeví světlejším odstínem šedi. Je zde potlačen vliv relaxace T1 a T2 (Malíková et al., 2022; Nekula et al., 2009).

#### **2.4.4.2 Speciální typy sekvencí**

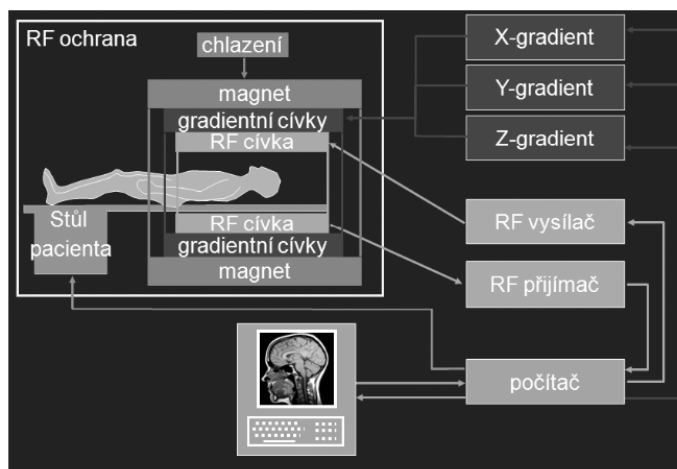
V MR můžeme využívat ještě další techniky speciálních sekvencí. Jednou z nich je například sekvence STIR, kde dokážeme potlačit signál tuku. Často je využívána pro vyšetření velkých kloubů či páteře. Další technikou je sekvence FLAIR. Ta nám umožní potlačit signál vody a je využívána především v diagnostice mozkových patologií. Jelikož běžná vyšetření MR jsou

dlouhá, oproti UZ či CT, byly vytvořeny rychlejší sekvence pro zkrácení času v MR. Jelikož s delším časem vyšetření mohou přibývat artefakty obrazu, může nám to zhoršit výsledný obraz a výsledek vyšetření. Souhrnným názvem pro rychlejší sekvence je gradientní echo. Formy kratších sekvencí jsou FLASH, FFE, E short či F short. Nejpoužívanější sekvencí se Singl shot SE je HASTE. Uplatňuje se při vyšetřování břicha, plodu nebo srdce. Další je Multi shot SE, která se využívá především pro zobrazení mozkomíšního moku nebo při zobrazení pankreatických či žlučových vývodů. Speciální metodou bez použití kontrastní látky využívá nativní MR angiografie. Pro zvýšení signálu k lepšímu rozlišení jednotlivých tkání a patologických ložisek, můžeme u T1 váženého obrazu intravenózně aplikovat při vyšetření gadoliniové kontrastní látky. Díky fázovému kontrastu dokážeme na MR měřit rychlost toku krve v cévách či je zobrazit celé (Malíková et al., 2022; Nekula et al., 2009).

#### **2.4.5 Přístrojové komponenty MR**

MR se skládá z mnoha komponentů. Nejprve si popíšeme tomograf MR. Existují dvě formy a to tomograf otevřený a cylindrický. Jednou z jeho hlavních částí je supravodivý permanentní magnet, který je nutné chladit pomocí kapalného hélia. Magnet nám vytváří statické magnetické pole  $B_0$ . Jeho síla může dosahovat až okolo 20 T, avšak v praxi se nejčastěji využívají o síle 1,5 T a 3 T. Další částí jsou gradientní cívky, které jsou uspořádané do 3 směrů (gradient-X, gradient-Y a gradient-Z). Umožňují nám prostorové kódování MR signálu. Jsou umístěny v blízkosti šimovacích cívek. Dále zde najdeme gradientní zesilovače. Další částí tomografu jsou dvě radiofrekvenční cívky, přijímací a vysílací. Přijímací má za úkol detekovat MR signál neboli FID. Také vytváří pole  $B_0$  ve formě krátkých pulzů. Přijímací radiofrekvenční cívka obsahuje systém pro zpracování emitované energie a zároveň funguje i jako vysílací radiofrekvenční cívka. Najdeme zde i předzesilovače, zesilovače pro zesílení získaného signálu, digitalizační a řídicí systém a v neposlední řadě rekonstrukční počítač. Dalšími součástmi jsou stůl pro uložení pacienta a podpěra stolu. Pro zlepšení kvality vyšetření se používají povrchové cívky. Jsou různě tvarované podle vyšetřované části, ke které se přikládají. Slouží jako přijímací cívky. Příkladem je hlavová cívka, cívka pro oblast břicha nebo cívka endorektální například na vyšetření prostaty. Při vyšetření nám také mohou posloužit systémy pro monitorování fyziologických funkcí jako je periferní pulz, EKG a dechový cyklus. Abychom docílili přesných výsledků vyšetření a vyhnuli se rušivým elementům RF signálů z okolí, je celá

místnost stíněna takzvaně Faradayovou klecí (Pleva et al., 2012; Beneš et al., 2022; Nekula et al., 2009).



**Obrázek 10** - Komponenty magnetické rezonance (Pleva et al, 2012)

#### 2.4.6 Artefakty obrazu MR

„Artefakty jsou falešné změny intenzity signálu, tvaru a polohy obrazového objektu, které nejsou podmíněné patologickým procesem, ale vznikly až v průběhu zobrazení. Zdrojem artefaktů jsou jak nedostatky v MR přístroji, tak biologické procesy.“ (Nekula et al., 2009, s. 15) Jsou různé skupiny artefaktů. Jedním z hlavních jsou pohybové artefakty, kam patří biologické pohyby v těle, jakož to peristaltické pohyby, srdeční pulzace, dýchání a jiné. Pro předcházení těmto artefaktům nám napomáhají různé synchronizace prostřednictvím EKG gating, CINE EKG gating či zanedbání signálu proudící krve. Další skupinou jsou artefakty chemického posunu. Vznikají změnou frekvence v okolí vyšetřované roviny. Projevem je navýšení či snížení intenzity signálu nejčastěji v rozhraních tkání s vysokým obsahem vody a tuku. Do poslední skupiny se zahrnuje vliv nehomogenit magnetického pole. Může dojít ke zkreslení obrazu v závislosti na kvalitě přístrojových součástí a systémové korekce nebo vlivem nevyhovujících materiálů v těle pacienta: kovové implantáty, make-up s kovovým pigmentem, ocelové střepinky a endoprotézové náhrady (Nekula et al., 2009).

#### 2.4.7 Indikace MR

Hlavní dominantí MR je její výborná tkáňová rozlišnost. Dokáže velice dobře rozpoznat měkké tkáně i bez použití kontrastní látky, oproti CT vyšetření. Její hlavní nevýhodou je velice nákladný provoz, proto je diagnostickou volbou až druhé či třetí volby. Může být také kontraindikací pro diagnózu, kterou potřebujeme vyšetřit. Náhradou může být ultrazvukové, rentgenové či CT vyšetření. Ne všechny indikace můžeme zaměnit za jiné vyšetření a vše se musí pečlivě zvážit. Některá jiná vyšetření nedokáží dostatečně posoudit určité struktury, které

však MR zvládá velice dobře, a proto je v některých indikacích první volbou pro vyšetření. Výhodou MR je absence ionizujícího záření. Toho se využívá zvláště u dětí, mladých žen ve fertilním věku či těhotných žen. Primární zobrazovací metodou je pro vyšetření mozku, a to především při postižení bílé hmoty mozkové, hypofýzy a zadní jámy lebeční. Také při podezření na postižení míchy a páteře celkově nebo k posouzení tumorů v malé pánvi a to prostaty, dělohy či rekta (Malíková et al., 2022).

#### **2.4.8 Kontraindikace MR**

Jelikož při vyšetření MR se člověk umísťuje do velice vysokého magnetického pole, pojí se s tím možný výskyt kontraindikací. Důležité je podotknout, že tato pravidla neplatí jen pro pacienty, ale také pro personál, údržbu, doprovod, zkrátka pro kohokoliv, kdo by chtěl vstoupit do vyšetřovací místnosti MR. Kontraindikace v MR rozdělujeme na absolutní a relativní.

Absolutní kontraindikací pro vyšetření MR jsou některé typy kochleárních implantátů či inzulinové pumpy, obecně elektronické implantáty, pokud nebyla doložena MR kompatibilita. Dále sem patří například i kardiostimulátor či kardioverter, pokud se nejedná o kompatibilní typ. V případě MR lze vyšetření kompatibilního kardiostimulátoru uskutečnit pouze za podmínek, kdy se kardiostimulátor přepne do MR kompatibilního módu. Toto nelze provádět na každém pracovišti, ale pouze na pracovištích k tomu uzpůsobených, například kardiocentra či arytmiologická pracoviště. V den vyšetření si pacient dojde přepnout kardiostimulátor na specializované pracoviště, kde dostane papír o protokolu přepnutí MR kardiostimulátoru. Platný je maximálně 24 hodin. Společně s tím donese písemné potvrzení o kompatibilitě. Absolutní kontraindikací jsou také cizí kovové předměty, které se nevědomky mohou nacházet intrakraniálně či v orbitě a nevíme, zda nejsou z feromagnetického materiálu. Toto se může stát například lidem pracujícím jako obráběči kovů. Pokud by zde mohlo být určité podezření, je důležité před vyšetřením doplnit prostým rentgenovým snímkem k průkazu vyloučení. Doba pokročila a již přes 10 let se všechny implantáty, cévní svorky a jiné vyrábějí z nemagnetických materiálů, ale i přes to je důležité doložení jejich neferomagneticity, protože mnohé starší implantáty dokáží v těle vydržet 30 let a výše (Malíková et al., 2022).

Do relativních kontraindikací patří předměty, které v přímém důsledku neohrožují pacienta na životě, ovšem mohly by způsobit nepříjemné pocity či menší poškození okolní tkáně. Náleží sem různé endoprotézy, stenty, osteosyntézy, umělé srdeční chlopně a další cizí tělesa, která byla implantována do těla pacienta. Vyšetření MR je možné, avšak je doporučeno s 6týdenním odstupem od zavedení implantátu. Hrozí zde riziko jeho posunutí v místě aplikace při

nedostatečném zahojení. Dále sem spadají cizí kovová tělesa. Během vyšetření může dojít k zahřátí tělesa. To by mohlo mít vliv na okolní tkáň, způsobit bolest pacientovi a v nejhrošším případě i popálení okolní tkáň. Do relativní kontraindikace spadá i klaustrofobie. Strach z malých prostor může mít zásadní dopad na celkový výsledek vyšetření, proto v krajních případech či u malých dětí lze provést vyšetření v celkové anestezii (Malíková et al., 2022).

#### **2.4.9 Kontrastní látky**

Obecně kontrastní látky se využívají ke zlepšení zobrazení anatomie a struktur orgánů, dokonce díky nim dokážeme zhodnotit i jejich funkčnost. KL se rozdělují na pozitivní a negativní. Do pozitivních patří jódové kontrastní látky, baryové a gadoliniové. Do negativních zahrnujeme vodu, vzduch, oxid uhličitý, methyl celulózu a manitol. Podle způsobu aplikace je rozdělujeme na systémové a intrakavitální. Do systémových aplikací patří intraarteriální, intavenózní či intratekální a intrakavitálně aplikujeme například do GIT, žlučových cest, pístěli nebo kloubů. Každý typ KL má své vlastnosti a jejich indikace se odvíjí od požadovaných vyšetření na určitý orgán v lidském těle, který potřebujeme zobrazit (Seidel et al., 2012.; Malíková et al., 2022).

V MR se používají KL na základě změn intenzity signálu. Jelikož je velká biologická variace relaxačních časů v orgánech při zobrazování MR tkání v normální a v patologické tkáni, překrývají se. KL nám v tomto případě pomůže zvýšením kontrastu mezi těmito strukturami je lépe rozlišit a zhodnotit. V MR se nejčastěji používají KL s paramagnetickými a superparamagnetickými vlastnostmi. Dokážou zkrátit T1 a T2 relaxační časy a kromě perfuzního vyšetření se aplikuje KL v T1W. Nejčastější paramagnetickou KL, která se využívá v MR, je gadolinium. Gadolinium je v biologickém systému samo o sobě toxické. Proto abychom ho mohli použít jako KL, musí být navázáno na molekulu ligand. Díky této vazbě nám vznikne komplex nazývaný chelát. Nejčastěji jsou gadoliniové KL aplikovány intravenózně a v lidském těle se nejčastěji vylučují glomerulární filtrací. Při správné funkci ledvin dojde k celému vyloučení z těla do 6 hodin. Průměrná aplikovaná dávka při vyšetření je v rozmezí 10 až 20 ml gadolinia (Malíková et al., 2022; Seidel et al., 2012).

Tyto látky jsou velice tolerované. Nežádoucí účinky, spojené s gadoliniovými KL, jsou poněkud vzácné. Alergické reakce jsou minimální. V případě výskytu se léčí symptomaticky jako při alergii. Nefrotoxicita není, ale v ojedinělých případech při renální insuficienci může dojít k vzácné, životu ohrožující, reakci nefrogenní systémové fibróze (Malíková, 2022).

#### **2.4.9.1 Využití kontrastní látky u karcinomu prostaty**

U karcinomu prostaty se KL využívají při dynamickém kontrastním MR zobrazení. Při tomto vyšetření je třeba rychlé aplikace pro zobrazení neovaskularizaci orgánu. Proto se zde volí aplikace ve formě bolusu a rychlá sekvence zobrazení. Tím se docílí kontrastního zesílení. Jeho zobrazení je častější a šetrnější oproti zbytku žlázy. Výsledkem jsou mapy farmakodynamických parametrů, které pomáhají k identifikaci prostatické tkáně v místě hypervaskularizace. Hodnotí se zde místa, kde je rychlejší přestup kontrastní látky do intersticia a kde je eliminace zpět do krevního oběhu rychlejší. Dle charakteru křivky se hodnotí odlišnosti, zda se jedná buď o uzlovitá vaskularitovaná ložiska adenomyomatózní hyperplazie, či hypervaskularizace z neovaskularizace u karcinomu. Spojení dynamického kontrastního vyšetření s MR spektroskopie, může být užitečné při identifikaci rakoviny prostaty, když zobrazení v T2 vážených obrazech neposkytuje jasnou informaci (Dolejšová et al., 2014).

#### **2.4.10 Příprava pacienta na vyšetření MR**

Základem je lékařem stanovená anamnéza a zhodnocení, zda MR bude pro pacienta prospěšná. Poté se pacient objedná na vyšetření. V den vyšetření pacient přijde o 15 minut dříve. Před vyšetřením je důležité probrat možné kontraindikace pro MR vyšetření, proto pacient obdrží od pověřené zdravotní asistentky či radiologického asistenta dotazník, který společně vyplní. Před některá vyšetření na MR je důležitá i příprava pacienta, proto by měl být případně od indikujícího lékaře proškolen a poučen. Vyšetření na MR se pohybují okolo 20 až 60 minut, dle diagnózy. Po zavolání do kabinky před vyšetřením je důležité, aby si pacient sundal všechny kovové předměty na sobě, jako jsou řetízky, náušnice, piercingy a podobně. Také si odloží případně kalhoty a boty či podprsenky s kovovými háčky. Před uložením pacienta do prostoru MR radiologický asistent zkontroluje zda pacient nemá na sobě něco co by mohlo vadit při vyšetření. Poté uloží pacienta na stůl MR. Jelikož je MR velice hlučná při vyšetření, díky gradientním cívkám, které se během vyšetření spínají během sekvencí, obdrží pacient sluchátka či špunty do uší. Pacient by měl na stole zaujmout co nejpohodlnější polohu, ve které se nepohne po dobu celého vyšetření, abychom dostali co nejlepší výsledný obraz, proto je jeho tělo ještě podloženo kompenzačními pomůckami pro lepší fixaci a nadále je případně dána na pacienta cívka pro lepší signál obrazu. Před skenováním se zajišťuje žilní vstup, pro podání kontrastní látky či pro léku k utlumení motility střeva. Případě potřeby se zajišťuje i druhý žilní vstup u zátěžových vyšetření k podání farmakologické zátěže. Případě podání intravenózně gadoliniovou kontrastní látky během vyšetření, je potřeba vyloučit renální selhání, u rizikových

nemocných, proto je vyžadována kontrola hodnoty sérového kreatinu (Malíková et al., 2022; Pleva et al., 2012).

## **2.5 Populační pilotní program časného záchytu karcinomu prostaty**

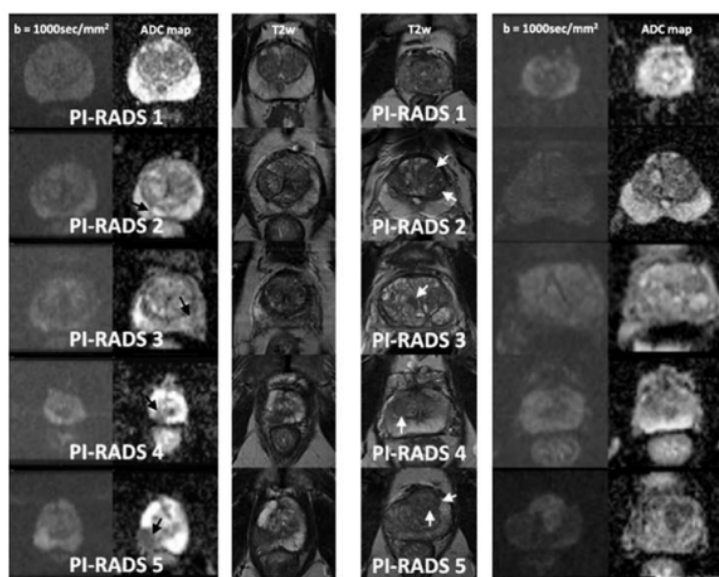
Ročně díky karcinomem prostaty umírá okolo 8 000 mužů, což narostlo přibližně o trojnásobek než před dvaceti lety. Toto číslo narostlo jak se stárnoucí populací, tak se zdokonalováním medicíny a nárůstem rutinních PSA preventivních vyšetření u starších mužů. Tímto vyšetřením můžeme včas odhalit ranější výskyt onemocnění a rozhodnout tak včas o dalších došetřeních, či o případné biopsii a předejít rozvinutí karcinomu do horších stádií. Jelikož PSA vyšetření pomocí krevního séra je levné a velice dostupné, rozhodla se Česká republika jako jedna z prvních evropských zemí odstartovat a zapojit se od 1.1.2024 do populačního pilotního programu časného záchytu karcinomu prostaty a díky tomu se snažit o časný záchyt a předejít tak onemocnění. Screening je určen pro všechny muže, kteří nejsou doposud léčeni na rakovinu prostaty a jsou ve věku od 50 až 69 let svého života (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2023; NSC, 2024).

### 3 VÝZKUMNÁ (PRAKTICKÁ) ČÁST

Praktická část vychází z teoretické části. Hlavním cílem praktické části je porovnání výsledků jedné určité nemocnice z vyšetřeních v magnetické rezonanci a zjištění, v jakém procentu byl prokázán karcinom prostaty u jednotlivých hodnocení PI-RADS 2.1. u mužů s elevací PSA před zvažovanou biopsií. Dílčím cílem je porovnat výsledky dle věku pacientů, podle rozdělení PI-RADS 2.1. skóre a následné porovnání s literaturou.

#### 3.1 Využití magnetické rezonance pro karcinom prostaty

Jak už bylo řečeno v diagnostice, se zavedením zobrazovacích metod, a to především MR s přivedením techniky multiparametrického vyhodnocování (mp-MRI), se výrazně navýšila specifita a senzitivita zobrazení nádorů prostaty. Společné využití s cílenou biopsií, označení podezřelého ložiska s jeho následnou biopsií, se díky kombinaci s MR výrazně zlepšil záchyt klinicky signifikancí karcinomu prostaty a snížil se počet zbytečných biopsií. Se zavedením mp-MRI byly pro prostatu také vyvinuty skórovací systémy a od roku 2019 je doporučován a nejvíce využíván především skórovací systém PI-RADS 2.1. Tento systém je speciálně založen na principu schématu, popisujícím specifické znaky v DWI, DCE a v T2-váženém obrazu. Dokáže popsat oblasti zájmu a poskytnout explicitní kritéria k popisu na škále od 1-5 v každé sekvenci. Výhodou, kterou umožňuje MR před biopsií prostaty, je označení suspektního ložiska a tím snižuje míru jeho minutí. MR také snižuje nutnost provedení rebiopsií. Těž umožňuje zpřesnění stratifikace pacientů dle rizika postižení či bezpečné sledování v režimu active surveillance (Kudláčková et al., 2017; Pernický et al. 2020).



Obrázek 11 - Klasifikace PI-RADS™v.2 pro periferní zónu a pro tranzitní zónu (Kudláčková et al., 2017)

### 3.2 Postup vyšetření prostaty na MR

Pacient přichází na vyšetření v objednaném termínu nalačno. Den před vyšetřením si zavede do konečníku glycerinový čípek, který obdržel k tomuto vyšetření od indikujícího lékaře. Pokud by se cítil nevyprázdněn, lze podat ještě druhý glycerinový čípek ráno. Tři dny před vyšetřením je důležité, aby byl bez ejakulace. Před vyšetřením nejsou potřeba žádná režimová opatření, dieta či bezezbytková strava, ale je doporučována lehčí strava. Nepodávají se projímavé roztoky per os v předchozích dnech ani ráno před vyšetřením.

V den vyšetření nesnídá, pokud není diabetik, nepije sladké nápoje, ovocné šťávy, kávu či čaj. Doporučuje se pít pouze neperlivá čistá voda. Své léky může obvykle užívat, kromě inzulínu. K vyšetření se dostaví 15 minut před naplánovaným časem termínu. Vyšetření trvá okolo 20 až 35 minut. Před vyšetřením je nutno provést s pacientem osobní identifikaci, zjistit možné alergie a důležité je probrat možné kontraindikace pro MR a na základě toho vyplnit dotazník (viz Příloha A). Poté je pacient vyzván k odskočení si na toaletu, protože k vyšetření je vhodný mít prázdný močový měchýř. Poté je vyzván do kabinky k odložení si všech kovových předmětů jako jsou hodinky, pásky, různé přívěšky a také kalhoty a boty. Radiologický asistent musí dohlédnout a prověřit, zda nemůže mít pacient v oku či jinde nějakou šponu a podobně. Dále mu zdravotník či radiologický asistent zavede periferní katetr pro podání kontrastní látky, či pro případné podání Buscopanu pro utlumení střevních kliček.

Před začátkem vyšetření si musí radiologický asistent připravit fyziologický roztok a kontrastní látku v injektoru. V injektoru jsou dva zásobníky, kdy jeden se naplní kontrastní látkou a druhý fyziologickým roztokem. Používá se gadoliniová KL, například Dotarem a její množství se odvíjí od váhy a věku pacienta. Dotarem se aplikuje v polovině vyšetření injektorem. Pro utlumení střevních kliček se používá Buscopan, který se aplikuje případně během vyšetření jen u pacientů, pokud by bylo během vyšetření v obrazu vidět mnoha artefaktů z pohybů peristaltik střev, a množství aplikované dávky u dospělých a dětí nad 12 let věku se doporučuje 20 až 40 mg dle hmotnosti pacienta.

Na vyzvání radiologického asistenta si jde pacient lehnout na stůl MR. Lehne si na záda hlavou ke gantry a ruce má podél těla. Před začátkem vyšetření ho radiologický asistent poučí o jeho průběhu. Pod hlavu mu dá polštářek a pod nohy klín pro lepší pohodlí, upevnění těla a prevenci výskytu možných artefaktů během vyšetření, které by mohly znehodnotit výsledný obraz z MR a vyšetření by nebylo odpovídající. Na oblast pánve mu upevní tělovou cívku. Jelikož MR během vyšetření vytváří velký hluk, dostane pacient na uši sluchátka a do ruky balónek, kterým

může vyšetření, v případě nevolnosti, ukončit. Po zahájení vyšetření si radiologický asistent v počítači vybere protokol a sekvence na zobrazení prostaty, které potřebuje. Pokud by se v obraze objevovalo mnoho artefaktů z peristaltik střev, podá se pacientovi Buscopan k utlumení střevních peristaltik. Přibližně v polovině vyšetření se pacientovi aplikuje kontrastní látka Dotarem.

Po skončení vyšetření pacient odchází do kabinky se obléknout. Radiologický pacient ho poučí o možné špatné reakci po aplikaci KL během vyšetření. Z toho důvodu doporučí pacientovi zůstat 30 minut v čekárně.

### **3.2.1 Kontraindikace spojené z použitím Buscopanu**

Buscopan je spasmolytikum, které nám pomáhá k utlumení střevní peristaltiky, pro lepší přehlednost a výsledek vyšetření na MR. Tento roztok se aplikuje do periferního katetru těsně před vyšetřením a je kontraindikací u pacientů: s hypersenzitivou na bromid butylskopolamina, s neléčeným zeleným zákalem s úzkým úhlem, s hypertrofickou prostatou, při níž může dojít k retencí moči. Další kontraindikací může být mechanická stenóza gastrointestinálního traktu či autoimunitní onemocnění myasthenia gravis, kdy dochází k nadměrné svalové slabosti u lidí se zrychleným tepem a u megakolonu. Pokud by byl Buscopan podán intramuskulárně, může být kontraindikací u pacientů léčících se antikoagulancii. Buscopan může vyvolat závrať či poruchy vidění, díky ovlivnění akomodace oka, proto je doporučováno v den vyšetření neřídít dopravní prostředky (Mediatelly, 2019).

### **3.2.2 Kontraindikace spojené z použitím Dotaremu**

Dotarem, neboli kyselina gadoterová, je gadoliniová KL, která se podává intravenózně v rámci diagnostického výkonu. Používá se pro jeho schopnost zvýšení kontrastu během vyšetření MR. Doporučená dávka je 0,2 ml/kg. Kontraindikací spojenou s Dotaremem může být hypersenzitivita na: maglumin, kyselinu gadoterovou a jiná léčiva obsahující gadolinium. Nežádoucí účinky se mohou vyskytnout i u pacientů s poruchou renálních funkcí. V ojedinělých případech u nich může dojít k nefrogenní systémové fibróze (NSF). Také u pacientů s transplantací ledvin bychom měli brát větší zřetel na možný výskyt nežádoucích účinků (Mediatelly, 2019).

## **3.3 PI-RADS 2.1 hodnotící systém**

PI-RADS můžeme charakterizovat jako hodnotící systém sloužící jako komunikační nástroj mezi radiology, urology, patology a onkology. Tento systém nám dokáže vyjádřit vztah mezi morfologickým nálezem a pravděpodobností postižením prostaty signifikantním tumorem.

Existuje několik verzí PI-RADS a nejvíce osvědčenou se stala verze PI-RADS 2.1, která používá pětibodovou škálu, ukazující jaké je riziko přítomnosti karcinomu prostaty. Je získána kombinací zjištěných změn při vyšetření v T2 vážených obrazech rychlého spinového echa (DWI), společně s hodnocením obrazů, které mají vysokou hodnotu b, s hodnocením map aparentního difuzního koeficientu (ADC) a dále s postkontrastním dynamickým zobrazením s gradientními sekvencemi (DCE) (Pernický et al., 2020).

### 3.4 Dělení PI-RADS 2.1 scóre

PI-RADS využívá pětibodovou škálu, hodnotící rizika přítomnosti karcinomu prostaty, které byly získány kombinací zjištěných změn při multiparametrickém vyšetření v T2 w., DCE a DWI v každé podezřelé lézi v parenchymu žlázy. Hodnotící systém PI-RADS 2.1 je složitý a rozděluje se na pět kategorií a to: PI-RADS 1, PI-RADS 2, PI-RADS 3, PI-RADS 4 a PI-RADS 5 (Pernický et al., 2020).

Tabulka 2 - Kategorizace PI-RADS scóre (Kastner, 2017)

<b>PI-RADS 1</b>	velmi nízká	Riziko klinicky signifikantního karcinomu je vysoce nepravděpodobná.
<b>PI-RADS 2</b>	nízká	Klinicky signifikantní karcinom je pravděpodobně nepřítomen.
<b>PI-RADS 3</b>	střední	Přítomnost klinicky signifikantního karcinomu je nejasná.
<b>PI-RADS 4</b>	vysoká	Klinicky signifikantní karcinom je pravděpodobně přítomen.
<b>PI-RADS 5</b>	velmi vysoká	Klinicky signifikantní karcinom je vysoce pravděpodobný.

Tabulka 3 - Doporučování biopsie při hodnocení PI-RADS (Kastner, 2017)

PI-RADS	RIZIKO PRO SIGNIFIKACI KARCINOMU	DOPORUČENÍ	PROCENTUÁLNÍ RIZIKO VÝSKYTU KARCINOMU
1	velmi nízká	-	0,0 až 1,3% risk karcinomu
2	nízká	-	0,0 až 1,3% risk karcinomu
3	neurčitá	MR kontrola za 9 až 12 měsíců	15 %
4	vysoká	biopsie	27 %
5	velmi vysoká	brzká biopsie	88 %

## **4 METODIKA VÝZKUMNÉ (PRAKTICKÉ) ČÁSTI**

Pro výzkum byla použita zdravotní dokumentace potřebná k analýze pacientů s podezřením na výskyt karcinomu prostaty. Metodikou výzkumné části je práce s retrospektivní analýzou výsledků z vyšetření v magnetické rezonanci u 50 respondentů, mužů, s podezřením na přítomnost karcinomu prostaty před zvažovanou biopsií. Úkolem bylo zjistit a porovnat v jakém procentu byl prokázán karcinom prostaty o jednotlivých PI-RADS hodnocení z popisu radiologa. Výsledky hodnocení PI-RADS byly čerpány ze zdravotní dokumentace.

### **4.1 Hypotézy**

1. Magnetická rezonance bude schopna identifikovat suspektní ložiska z tumorózní etiologie.
2. Budou histologicky ověřena ložiska typu PI-RADS 4 a PI-RADS 5 jako tumor z popisu PI-RADS 2.1.
3. Bezpečnost vyšetření prostaty na magnetické rezonanci vztahující se také na reakci na kontrastní látku by mělo být v souladu a bez komplikací.

### **4.2 Charakteristika výzkumného souboru**

Do výzkumného souboru bylo náhodně vybráno 50 respondentů, mužů. Věk zkoumaného souboru se pohyboval v rozmezí 47 let až 84 let života.

### **4.3 Sběr dat**

Sběr dat probíhal v prvním čtvrtletí roku 2023. Výzkum byl realizován ve zdravotnickém zařízení na radiodiagnostickém oddělení na magnetické rezonanci. Sledovanou skupinou byli pacienti, muži, s podezřením na karcinom prostaty.

### **4.4 Analýza dat**

Ze získaných dat byly v programu Microsoft Excel zhotoveny tabulky a bakalářská práce byla vypracována v programu Microsoft Word.

### **4.5 Výsledek**

Výzkumu se zúčastnilo 50 pacientů, respektive mužů. Výsledky jsou znázorněny v následujících tabulkách. V tabulkách je rovněž uveden výsledek vyšetření z MR a následné hodnocení popisu radiologa v PI-RADS scóre. (viz Tabulka 4 druhý sloupec). Následně jsou zde uvedeny hodnoty provedené biopsie (viz Tabulka 4 třetí sloupec). Značka NA říká, že dosud nebyla u respondenta provedena biopsie, či byla provedena na jiném pracovišti, ale nebyla poskytnuta pro tento výzkum. Číslo 0 nám značí, že výsledek biopsie byl bez malignity.

Poslední značení ze sloupce biopsie je Gx+y, kdy G značí prokázání karcinomu a x+y značí histologický popis agresivity tumoru.

**Tabulka 4 - Zaznamenaná data z výzkumu**

<b>Respondenti</b>	<b>PI-RADS</b>	<b>Biopsie</b>	<b>Věk</b>
1.	5	G4+5	68
2.	3	NA	76
3.	4	G3+3	70
4.	4	0	60
5.	4	G3+3	69
6.	4	G4+4	76
7.	4	G4+4	70
8.	4	G3+4	79
9.	2	NA	62
10.	4	G3+4	72
11.	4	G4+5	70
12.	4	G3+3	69
13.	5	G5+5	68
14.	1	NA	58
15.	1	NA	77
16.	4	0	63
17.	5	0	68
18.	4	G4+3	62
19.	5	G3+3	74
20.	3	0	72
21.	1	0	70
22.	3	NA	62
23.	4	G3+3	56
24.	3	NA	47
25.	5	G4+3	77
26.	3	NA	57
27.	1	NA	72
28.	4	0	61
29.	5	G3+4	73
30.	4	0	60
31.	1	NA	49
32.	1	NA	63
33.	3	NA	70
34.	1	NA	70
35.	1	NA	75
36.	5	G4+4	84

Respondenti	PI-RADS	Biopsie	Věk
37.	4	0	57
38.	4	G3+3	65
39.	5	G3+4	66
40.	3	G3+3	70
41.	4	NA	68
42.	4	G3+3	68
43.	2	NA	52
44.	4	0	76
45.	5	G4+5	65
46.	4	0	67
47.	4	0	52
48.	5	0	70
49.	4	NA	78
50.	4	G3+3	66

#### 4.5.1 Četnost respondentů

Výzkumu se zúčastnilo 50 mužů. Prostata se vyskytuje pouze u mužů, proto obsazenost respondentů byla zastoupena pouze pánská.

#### 4.5.2 Věk respondentů

Věkové rozmezí 50 vybraných zkoumaných respondentů se pohybovalo v rozmezí od nejmladšího účastníka 47 let po nejstaršího 84 let. Průměrný věk ve výzkumu (viz Tabulka 6) byl 66,98 let. Četnost onemocnění karcinomu prostaty, jak už bylo řečeno v teoretické části, se zvyšuje s věkem (viz Tabulka 5). Největší navýšení počtu pacientů bylo ve věku 70 let (viz Tabulka 5).

Tabulka 5 - Přehled věku respondentů a počet zastoupení respondentů dle věku

Věk respondentů	Četnost zastoupení věku
47	1
49	1
52	2
56	1
57	2
58	1
60	2
61	1

Věk respondentů	Četnost zastoupení věku
62	3
63	2
65	2
66	2
67	1
68	5
69	2
70	8
72	3
73	1
74	1
75	1
76	3
77	2
78	1
79	1
84	1

Tabulka 6 - Přehledová tabulka dle Tabulky 6

Celková četnost respondentů	Nejmladší věk respondenta	Nejstarší věk respondenta	Průměrný věk respondenta
50	47	84	66,98

K výpočtu průměrného věku respondentů v tabulce byl použit vzorec: součet věků /počtem respondentů = průměrný věk respondenta.

Tabulka 7 - Souhrn výsledků z 50 zkoumaných respondentů

PI-RADS 2.1 hodnotící skóre	Rozdělení podle stejných výsledků hodnocení v PI-RADS 2.1 skóre u zkoumaných respondentů	Provedené následné vyšetření biopsie prostaty u pacientů o jednotlivých PI-RADS 2.1 skóre	Procentuální výskyt karcinomu prostaty o jednotlivých PI-RADS 2.1 skóre po provedené biopsii
PI-RADS 1	8	1	0%
PI-RADS 2	2	0	0%
PI-RADS 3	7	2	14%
PI-RADS 4	23	21	56%
PI-RADS 5	10	10	80%

U 50 zkoumaných respondentů, po provedení magnetické rezonance, byl radiologem vypracován popis z výsledku vyšetření v MR dle popisovacího skórovacího systému PI-RADS 2.1. Z 5 možných skórovacích hodnocení bylo radiologem (viz Tabulka 7 první a druhý sloupec zleva) 8 pacientů zařazeno do prvního stupně hodnocení PI-RADS 2.1, dále 2 lidé byli zařazeni do druhého stupně, do třetího stupně bylo zahrnuto 7 respondentů, největší zastoupení a to 23 pacientů z popisu vyšetření radiologem spadalo do čtvrtého stupně. Nakonec v posledním pátém stupni skórovacího hodnocení PI-RADS 2.1 skončilo 10 respondentů.

Ne u všech výsledků popisů hodnocení PI-RADS 2.1 byla následně provedena u pacientů biopsie prostaty. Dle dostupných informací a poskytnutých výsledků, pokud nebyl vyhodnocen popis radiologa jako negativní, nebyla provedena biopsie, či byla provedena na jiném pracovišti. Jednalo se o 16 pacientů, jejichž výsledky nebyly pro výzkum známé a dostupné. U hodnotícího skóre PI-RADS 1 (viz Tabulka 6 třetí sloupec zleva) byla provedena jedna biopsie a u PI-RADS 2 (viz Tabulka 6 třetí sloupec zleva) nebyla provedena žádná biopsie. Z dostupných dat byly provedeny 2 biopsie ze 7 pacientů se skórem PI-RADS 3. Nejvíce biopsií se provedlo u PI-RADS 4 skóre a to u 21 zařazených pacientů a u posledního skóre PI-RADS 5 byla biopsie provedena u všech 10 pacientů. Jak už nám ukazovala Tabulka 3, nejvíce biopsií bylo doporučeno ve skóre PI-RADS 3 a PI-RADS 4.

#### **4.6 Hodnocení výsledků**

Dle výsledků z vyšetření karcinomu prostaty, provedených na magnetické rezonanci a následného popisu radiologa v PI-RADS 2.1 skóre, můžeme říci, že MR dokázala dobře zobrazit suspektní ložiska z tumorózní etiologie, protože následná volba provedení dalšího histologického vyšetření, a to biopsie ukázala, že v místech tkáně prostaty, která byla popsána radiologem, byla správně prokázána přítomnost karcinomu prostaty. Avšak nejsme schopni říci a popsat, kolik bylo falešně negativních nálezů v hodnocení PI-RADS 2.1., protože z 50 respondentů nebyla u 16 z nich provedena biopsie prostaty nebo její výsledky nebyly pro výzkum dostupné z jiných pracovišť. Během vyšetření prostaty na magnetické rezonanci byly dodrženy všechny zásady bezpečného vyšetření orgánu a při podání kontrastní látky nebyla zaznamenána nežádoucí reakce.

## 5 DISKUZE

Tato bakalářská práce se věnuje vyšetření prostaty na magnetické rezonanci u pacientů s onemocněním karcinomu prostaty. Magnetická rezonance je zobrazovací diagnostická metoda, kde není zapotřebí ionizujícího záření. Je to neinvazivní metoda, jak získat diagnostické informace. Magnetická rezonance používá elektromagnetické vlnění a statické magnetické pole pro posouzení morfologie a patologie především měkkých tkání. Prostřednictvím magnetické rezonance a především multiparametrické techniky s difúzním vážením dokážeme detailně lokalizovat tumor prostaty, staging a nadále odlišit lokalizovaný až pokročilý tumor. Toto nám umožní naplánovat další léčebné a diagnostické potřeby, jako je například transrektální biopsie, která nám dokáže na základě histologického vyšetření odebraných vzorků jehlou pod ultrazvukovou kontrolou z prostaty potvrdit či vyvrátit karcinom prostaty. V posledních letech došlo k zavedení MR jako jedné z hlavních součástí diagnostiky karcinomu prostaty, což vyloučilo zbytečné provádění biopsií a také napomohlo k lepšímu určení rozsahu případného onemocnění. Proto je v této bakalářské práci také zmíněn nový program časného záchytu karcinomu prostaty v České republice, jak již zmiňuje Česká urologická společnost ČLS JEP, jehož cílem je včasný záchyt rakoviny prostaty ve stádiích, kde je vysoká pravděpodobnost pro kompletní uzdravení. Toho chtějí docílit častějšími testováními mužů v rizikovém věku, okolo 50 let až 69 let života, bez předešlé anamnézy karcinomu prostaty. Screening byl spuštěn od ledna roku 2024 a probíhá na základě PSA testů, pro zjištění hladiny nádorového markeru.

Se zvyšujícím se výskytem onemocnění karcinomem prostaty v populaci vzrůstá nárůst možných léčebných metod a diagnostických postupů. To klade velké nároky na přesnost diagnostiky a včasný záchyt raných stádií. Na základě těchto poznatků bylo cílem bakalářské práce zjistit, zda vyšetření karcinomu prostaty na magnetické rezonanci dokáže dobře zobrazit onemocnění, vztahující se k prostatě a především raný záchyt karcinomu prostaty s následným popisem výsledku vyšetření radiologem v PI-RADS 2.1 klasifikaci s hypotézou, že dokáže správně najít či vyvrátit přítomnost karcinomu prostaty. Tato hypotéza byla potvrzena.

Dílním cílem výzkumu také bylo, zda magnetická rezonance bude schopná výsledky z vyšetření identifikovat jako ložiska suspektní z tumorózní etiologie, v kategorizaci PI-RADS systému 2.1. u skóre PI-RADS 4 a PI-RADS 5 a budou histologicky ověřena jako tumor. K tomu nám posloužily výsledky z biopsií, které byly provedeny převážně u PI-RADS 2.1 skóre 4 a 5. Z 50 respondentů bylo PI-RADS hodnocení 4 a 5 hodnoceno u 33 pacientů, z toho u 31 byla následně provedena biopsie prostaty. U 10 respondentů výsledek poukázal na benigní, tj. nezhoubný,

a u 21 byl prokázán tumor, čili rakovina prostaty. Hypotézy se podařilo naplnit, pouze nejsme schopni popsat, kolik je falešně negativních nálezů, protože u 16 respondentů nebyla provedena biopsie či nebyla dostupná z poskytnutých dat pro výzkum z jiné nemocnice.

Dílčím cílem také bylo zajištění bezpečnosti, vztahující se pro podání kontrastní látky při vyšetření na magnetické rezonanci u prostaty. Hypotéza byla správně naplněna a při vyšetřeních byly dodrženy apyrogenní a hygienické zásady při podání kontrastní látky. U všech pacientů proběhlo podání kontrastní látky bez komplikací.

Výsledky výzkumu (dle Tabulka 7) poukazují, že míra rizika karcinomu prostaty o jednotlivých PI-RADS kategorizací se shodují s dostupnou literaturou (dle Tabulka 3) u skóre PI-RADS 1, PI-RADS 2, PI-RADS 3 a PI-RADS 5. U PI-RADS 4 došlo ke dvojnásobnému nárůstu zachytu onemocnění v tomto stádiu, než uvádí literatura.

Jak již uvádí literatura, díky hodnocení PI-RADS 2.0 jejíž podstatou je „*celosvětová analýza dat získaných na 1738 pacientech s odbiopsizovanými 2462 lézemi s předešlým hodnocením ložisek*“ (Pernický et al., 2020, s. 48), po úpravách do verze 2.1, byla dosažena podstatná a důležitá standardizace při získávání obrazů z vyšetření a interpretaci získaných nálezů na magnetické rezonanci prostaty. Toto hodnocení bylo přijato vědeckým a lékařským sektorem a začlenilo se jako doporučovaný vyšetřovací standard pro karcinom prostaty.

Toto téma je zajímavé z hlediska uvedení nového screeningu, který by měl napomoci dřívějšímu odhalení predispozic ke karcinomu prostaty a měl by dokázat zachránit mnoho životů. Dále je zde poukazováno na nové diagnostické a popisovací metody, které se dostaly do popředí, včetně s PI-RADS 2.1 skóre od roku 2019.

Hypotézy se nám téměř celé podařilo naplnit, až na nedostupnost všech výsledků z biopsií. Závažnost a množství provedených výsledků vyšetření z magnetické rezonance a následný popis radiologa v PI-RADS 2.1 a provedení případné biopsie dle závažnosti kategorizace PI-RADS se shodují s literaturou dané problematiky. Problematika, již se zabývá tato bakalářská práce a poznatky, získané při tomto zkoumání, mohou být velkým přínosem pro širokou veřejnost či pro další výzkumy.

## 6 ZÁVĚR

Bakalářská práce je koncipována do dvou částí, teoretické a praktické. Teoretická část se dělí do 5 hlavních částí zabývajících se anatomií prostaty, funkcí prostaty, nejčastějšími onemocněními prostaty zaměřené především na onemocnění karcinomu prostaty. Nadále se bakalářská práce věnuje představení podstaty diagnostického přístroje magnetické rezonance, od její historie, základních principů, zobrazovacích sekvencí, přístrojových komponentů, artefaktů obrazu, až po možné kontraindikace spojené s magnetickou rezonancí, použití kontrastních látek a také přípravy pacienta pro magnetickou rezonanci. V neposlední řadě je zde představen pilotní program záchytu karcinomu prostaty v ČR. Praktická část bakalářské práce je věnována výzkumu. Je zde představen a popsán postup vyšetření na magnetické rezonanci, formulován hodnotící systém PI-RADS 2.1, který používají radiologové pro zmapování výsledků vyšetření na magnetické rezonanci a který napomáhá k určení dalšího směru léčby. Úkolem praktické části bylo porovnání výsledků pacientů ve výzkumu s nastavenými hypotézami. Hypotézy se podařilo téměř zcela potvrdit, jediným problémem bylo neposkytnutí všech výsledků u pacientů s biopsií, zda byla či nebyla provedena, nebo byla provedena na jiném pracovišti, než byl veden výzkum pro tuto bakalářskou práci. K tomu došlo u 16 respondentů.

Bakalářská práce přináší zamyšlení nad danou problematikou. Umožňuje porovnání výsledků, získaných při výzkumu, s literaturou. Tato závěrečná práce může přinést zajímavé poznatky a být přínosem nejen pro zdravotníky, ale také pro širokou veřejnost.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

### 7.1 Knižní zdroje

BENEŠ, J. et al., 2022. *Základy lékařské fyziky*. Praha: Karolinum. 349 s. ISBN 978-80246-5398-3.

ČIHÁK, Radomír, 2013. *Anatomie 2: Třetí, upravené a doplněné vydání*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2013. 512 s. ISBN 978-80-247-4788-0.

ELIŠKOVÁ, Miroslava et al., 2006. *Přehled anatomie*. Praha: Karolinum. 309 s. ISBN 80-246-1216-X.

HANUŠ, Tomáš et al., 2015. *Urologie pro mediky*. Praha: Karolinum, 305 s., ISBN 978-80-246-3008-3.

HORA, Milan et al., 2020. *Urologie pro studenty všeobecného lékařství*. Praha: Karolinum. 131 s. ISBN 978-80-246-4544-5.

KITTNAR, Otomar et al., 2020. *Lékařská fyziologie*. Praha: © Grada Publishing, a. s., 752 s. ISBN 978-80-247-3068-4.

MALÍKOVÁ, Hana et al., 2022. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Karolinum, 118 s., ISBN 978-80-246-5190-3.

NEKULA, Josef a Jana CHMELOVÁ, 2009. *Základy zobrazování magnetickou rezonancí. Ostravská univerzita v Ostravě*, 68 s., ISBN 978-80-7368-335-1.

PLEVA, Martin a Petr OUŘEDNÍČEK, 2012. *MRI srdce: Praktické využití z pohledu kardiologa*. Praha: Grada Publishing, a. s., 136 s., ISBN 978-80-247-3931-1.

SEIDL, Zdeněk et al., 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: © Grada Publishing, a. s., 372 s. ISBN 978-80-247-4108-6.

VORLÍČEK, Jiří et al., 1.2012. *Onkologie*. Praha: TRITON, 65 s. ISBN 978-80-7387-603-6.

### 7.2 Internetové zdroje

ACR – ESUR – AdMeTech, 2019. In: *acr.org*. [online]. USA: Copyright © American College of Radiology, 2019 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/RADS/Pi-RADS/PIRADS-v2-1.pdf>.

ANTILON, George. 2022, The Prostate Gland. In: *radiologykey.com* [online]. Dalley AF II, 2022. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://radiologykey.com/the-prostate-gland/>.

KREJČÍ, D. *Novotvary 2019-2021* ČR. [online]. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistik České republiky, [cca. 2021], [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.uzis.cz/res/f/008447/novotvary2019-2021.pdf>.

MASLIKIEWICZ, Ondřej. Nukleární magnetická rezonance. In: *stretch.fs.cvut.cz: Středoškolská technika 2010, Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT* [online]. Hronov: SPŠ Hronov, 2010, [cit. 2024-04-14]. 1-18. Dostupné z: [https://stretch.fs.cvut.cz/2010/sbornik\\_2010/pdf/1030.pdf](https://stretch.fs.cvut.cz/2010/sbornik_2010/pdf/1030.pdf).

MEDIATELY, 2019. BUSCOPAN 20MG/ML Injekční roztok. In: *mediately.co* [online]. Ljubljana, 2019. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://mediately.co/cz/drugs/GeaTfdj3w3KeP94GCYlkp69RLI/buscopan-20mg-ml-injekcni-roztok>.

MEDIATELY, 2023. DOTAREM 279,32MG/ML Injekční roztok. In: *mediately.co* [online]. Ljubljana, 2023. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://mediately.co/cz/drugs/YPyMUVw0rPj2WLFcrtBraTElI0/dotarem-279-32mg-ml-injekcni-roztok>.

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2023. Populační pilotní program časného zachytu karcinomu prostaty In: *mzd.gov.cz* [online]. Praha, 2023 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://mzd.gov.cz/populacni-pilotni-program-casneho-zachytu-karcinomu-prostaty/>.

NÁRODNÍ SCREENINGOVÉ CENTRUM, 2024. Populační pilotní program časného zachytu karcinomu prostaty In: *nsc.uzis.cz* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://nsc.uzis.cz/cs/o-nsc/>.

RADIOLOGY ASSISTANT, 2023. Prostate Anatomy In: *radiologyassistant.nl* [online]. Alrijne Hospital and Erasmus MC: Radiology Department of the Haaglanden MC, 2023 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://radiologyassistant.nl/abdomen/prostate/prostate-cancer-pi-rads-v2-1-1>.

ÚZIS, 2017, TNM Klasifikace zhoubných novotvarů In: *uzis.cz* [online]. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistik ČR, 2018 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z:

<https://www.uzis.cz/index.php?pg=registry-sber-dat--klasifikace--tnm-klasifikace-zhoubnychnovotvaru#o-klasifikaci>.

ZACHOVAL, Roman. Program časného zachytu karcinomu prostaty v ČR. In: *cus.cz* [online]. Brno: Adalo Solutions s.r.o. ©, 2023–2024, [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.cus.cz/ospolecnosti/program-casneho-zachytu-karcinomu-prostaty-v-cr/#>.

### 7.3 Odborné články

BELEJ, Kamil. 2009. Transrektální sonografie v diagnostice onemocnění prostaty. *Urologie pro praxi*. [online]. Praha: Solen, s.r.o., 10(1), 7–10 [cit. 2024-04-14]. ISSN 1803-5299.

BRUS et al., 2007. Minulost a současnost NMR spektrometrie do nitra molekul a člověka. *Chemické listy* [online]. Copyright © 2024, 101, 122–130 [cit. 2024-04-14]. ISSN 1213-7103.

DOLEJŠOVÁ, Olga et al., 2014. Využití multiparametrické magnetické rezonance a srovnání s ostatními moderními zobrazovacími metodami v předoperační diagnostice karcinomu prostaty. *Česká urologie* [online]. Plzeň: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně. ©, 18 (4), 300-309 [cit. 2024-04-14]. ISSN 2336-5692.

KOPECKÝ, Josef et al., 2015. Přínos (-2) proPSA a PHI pro diagnostiku karcinomu prostaty. *Urologie pro praxi* [online]. Solen, s.r.o., 16 (3), 106-108 [cit. 2024-04-14]. ISSN 1803-5299.

KUDLÁČKOVÁ, Šárka et al., 2017. Cílená biopsie prostaty pomocí magnetické rezonance. *Urologie pro praxi* [online]. Solen, s. r. o., 18(2), 69-72 [cit. 2024-04-14]. ISSN 1803-5299.

PERNICKÝ, Jan et al. 2020. Změny v hodnocení nálezů v prostatě pomocí klasifikace PI-RADS 2.1. *Česká radiologie* [online]. 1. Plzeň: Galén, spol.s.r.o., 74(1), 47-54 [cit. 2024-04-14]. ISSN 1210-7883.

PTÁČNÍK, Václav et al., 2015. PET/CT vyšetření u pacientů s karcinomem prostaty. *Onkologie* [online]. Praha: Solen, s.r.o., 17 (1), 7-10 [cit. 2024-04-14]. ISSN 1803-5299.

### 7.4 Bakalářské práce

LÉDROVÁ, Denisa. *Vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou srdeční*, 2023. 62 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta zdravotních studií. Vedoucí práce MUDr. Bořivoj Korběl.

RUSÍN, Pavel. *Multiparametrické vyšetření prostaty 3T magnetické rezonance*, 2018. 78 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta zdravotnických studií. Vedoucí práce MUDr. Ing. Radek Tupý.

## **7.5 Presentace**

KASNER, Jan. Magnetická rezonance u karcinomu prostaty, posuzování lokálního nálezu u PIRADS 2. In: *radiologieplzen.eu* [online]. Plzeň. Klinika zobrazovacích metod Fakultní nemocnice Plzeň 2017 [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://radiologieplzen.eu/prednaska-ke-stazeni-mr-u-karcinomu-prostaty/>.

## **8 PŘÍLOHY**

Příloha A – <i>Poučení a dotazník před vyšetření magnetickou rezonancí</i> .....	54
--	----

### **Poučení a dotazník před vyšetřením magnetickou rezonancí (1.strana)**

Vážená paní, vážený pane,

Váš ošetřující lékař Vás doporučil k vyšetření na magnetické rezonanci (MR). Jedná se o jednu z nejmodernějších vyšetřovacích metod, která je v současné době schopna vyšetřit větší část orgánů lidského těla, včetně mozku, kloubů i břišních orgánů.

Magnetická rezonance je metoda založena na jiném principu, než ostatní rentgenové metody, není zde použito ionizující záření, ale silné magnetické pole. Díky tomu je metoda šetrnější pro lidský organismus, ale musí být předem vyloučena přítomnost předmětů v těle, které mohou být magnetickým polem ovlivněny a tak poškodit pacienta (viz dotazník na druhé straně souhlasu). Vyšetření je tedy založeno na principu elektromagnetické energie, u které nebyly dosud prokázány škodlivé biologické účinky. Přesto raději nevyšetřujeme těhotné ženy v prvních třech měsících těhotenství.

Při vlastním vyšetření budete ležet na vyšetřovacím stole v silném magnetickém poli. Proměnné přídavné pole vytváří hluk. Tento hluk tedy k vyšetření patří a není známkou poruchy přístroje. Okolo vyšetřované části těla Vám bude umístěna cívka, která přijímá odezvu z vyšetřované tkáně.

Vyšetření obvykle trvá 15–45 minut a během vyšetření budete vyzváni, abyste se nehýbali. Při vyšetření zvláště orgánů dutiny břišní budete požádáni o zadržení dechu na kratší dobu. Vlastní vyšetření nevyžaduje zvláštní přípravu, pouze před vyšetřením orgánů dutiny břišní je nutné minimálně 2-3 hodiny předem nejíst a nepít sladké nápoje.

V některých případech vyžaduje povaha vyšetření aplikaci kontrastní látky do žily. Kontrastní látky pro MR jsou v naprosté většině speciální sloučeniny na bázi vzácného kovu gadolinia. Nepoškozují ledviny, podávají se v malých dávkách (cca 10–20 ml) a riziko alergické reakce je oproti jodovým kontrastním látkám statisticky významně nižší.

Při vyšetření obdržíte do ruky balónek a v případě, kdyby se Vám udělalo nevolno, bude po zmáčknutí balónku přivolán zdravotnický personál.

Vyšetření na MR je zcela bezpečné. Může se však stát nebezpečným, pokud má pacient v těle některé kovové přístroje či předměty, proto s vámi bude sepsán cílený dotazník (viz dále), který je součástí tohoto dokumentu. Je nutné vyloučení v dotazníku uvedených skutečností, zvláště přítomnost kardiostimulátoru a kochleárního implantátu. Pokud vám bylo jedno z těchto zařízení implantováno a pokud jste nebyl upozorněn na to, že jsou vhodné do MR přístroje, nemůžete bohužel MR vyšetření absolvovat. Pokud i na nějakou další otázku odpovíte „ANO“ nemusí to však vždy znamenat, že vyšetření nelze provést, ale je nutné, aby zdravotnický personál od Vás získal doplňující informace. V případě nejasností či s dalšími otázkami se prosím obraťte na personál pracoviště magnetické rezonance.

Podpisem pod tento dokument prohlašujete:

- že jste byl(a) informován(a) o účelu, povaze, důsledcích, rizicích, možných komplikacích a alternativách vyšetření,
- že jste měl(a) možnost seznámit se s výše uvedeným textem, osobně klást doplňující dotazy a pokud tomu tak bylo, veškeré dotazy byly řádně zodpovězeny a podaným informacím jste plně porozuměl(a),
- že v případě výskytu komplikací souhlasíte, aby byly provedeny všechny další potřebné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.
- že na základě poskytnutých informací a po vlastním zvážení svobodně a bez nátlaku souhlasíte s tímto vyšetřením.

## Poučení a dotazník před vyšetřením magnetickou rezonancí (2.strana)

Jméno a příjmení vyšetřovaného..... Rodné číslo.....

Váha:.....kg Výška: .....cm

Dnešního dne jsem byl (a) poučen (a) o zdravotním výkonu, který mi má být proveden – vyšetření magnetickou rezonancí. Vzhledem k tomu, že musí být předem vyloučena přítomnost předmětů v těle, které mohou být ovlivněny magnetickým polem a tak mne poškodit, je nutné vyplnit následující dotazník, kterým se tyto důležité informace zjišťují a já svým podpisem stvrzuji, že uvedené skutečnosti jsou pravdivé.

### Prohlašuji, že jsem nositelem následujících zařízení:

Kardiolstimulátor (srdeční elektrody)	ano	ne	
Elektronické implantáty (kochleární, insulin. pumpa)	ano	ne	
Cévní svorky	ano	ne	Kde?.....
Chlopenní náhrady	ano	ne	
Cizí kovové těleso, stěpiny (v oku, intrakraniálně, jinde)	ano	ne	Kde?.....
Zubní náhrady	ano	ne	
Kovové implantáty (endoprotézy,...)	ano	ne	Kde?.....
Stenty, žilní filtry	ano	ne	
Tetování či piercing	ano	ne	Kde?.....
Naslouchadlo	ano	ne	
Pro ženy: Nitroděložní tělísko	ano	ne	

### Prohlašuji, že mám:

Alergie	ano	ne	Na co?.....
Klaustrofobie	ano	ne	
Onemocnění ledvin	ano	ne	Jaké?.....
Prodělané operace (zvláště neurochirurgické)	ano	ne	Jaké?.....
Pro ženy: Jsem těhotná	ano	ne	Jaký týden/trimestr? .....

### Svým podpisem stvrzuji, že výše uvedené údaje jsou pravdivé

Podpis pacienta:

.....

Podpis zástupce pacienta:

.....

### Pacient není způsobilý se vyjádřit, (uvest důvod):

**Kontraindikace vyšetření MR nebyly shledány.**

Zdravotnický pracovník, který provedl poučení a vyplnění:

Datum:

.....