

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Kateřina Musilová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Syntetické MR mozku

Kateřina Musilová

2021

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kateřina Musilová**
Osobní číslo: **Z18405**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **Syntetické MR mozku**
Zadávatel 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:

1. VANĚČKOVÁ, Manuela a Zdeněk SEIDL. *Magnetická rezonance a roztroušená skleróza mozkomíšní*. Praha: Mladá fronta, 2010. Aeskulap. ISBN 978-80-204-2182-1.
2. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
3. L. Saccetti *et al.*, „Brain tissue and myelin volumetric analysis in multiple sclerosis at 3T MRI with various in-plane resolutions using synthetic MRI“, *Neuroradiology*, roč. 61, č. 11, s. 1219–1227, lis. 2019, doi: 10.1007/s00234-019-02241-w.
4. T. Granberg *et al.*, „Clinical Feasibility of Synthetic MRI in Multiple Sclerosis: A Diagnostic and Volumetric Validation Study“, *AJNR Am J Neuroradiol*, roč. 37, č. 6, s. 1023–1029, čer. 2016, doi: 10.3174/ajnr.A4665.
5. F. G. Gonçalves, S. D. Serai, a G. Zuccoli, „Synthetic Brain MRI: Review of Current Concepts and Future Directions“, *Topics in Magnetic Resonance Imaging*, roč. 27, č. 6, s. 387–393, pro. 2018, doi: 10.1097/RMR.000000000000189.
6. L. N. Tanenbaum *et al.*, „Synthetic MRI for Clinical Neuroimaging: Results of the Magnetic Resonance Image Compilation (MAGiC) Prospective, Multicenter, Multireader Trial“, *AJNR Am J Neuroradiol*, roč. 38, č. 6, s. 1103–1110, čer. 2017, doi: 10.3174/ajnr.A5227.

Vedoucí bakalářské práce: **MUDr. Leoš Ungermann, Ph.D.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **29. dubna 2021**

L.S.

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D. v.r.
děkanka

Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. března 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Syntetické MR mozku 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 29. 4. 2021

Kateřina Musilová v. r.

PODĚKOVÁNÍ

V této části bych ráda poděkovala především vedoucímu bakalářské práce MUDr. Leošovi Ungermannovi Ph.D. za jeho pomoc a cenné rady, které vedli k napsání této bakalářské práce.

V neposlední řadě patří poděkování mé rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia.

ANOTACE

Bakalářská práce se věnuje syntetické magnetické rezonanci mozku u pacientů s roztroušenou sklerózou. V teoretické části je popsána základní anatomie mozku, princip magnetické rezonance a sekvence používané při vyšetření roztroušené sklerózy. Dále jsou zde uvedeny informace o obraze RS na magnetické rezonanci a popis syntetické MR. Praktická část se poté zaměřuje na vyšetření pacientů, u kterých byl proveden standardní protokol využívaný u RS a protokol obsahující syntetické sekvence s následným zhodnocením shromážděných dat.

KLÍČOVÁ SLOVA

magnetická rezonance, mozek, roztroušená skleróza, syntetické MR

TITLE

Synthetic MRI of the Brain

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with synthetic MR of the brain of patients with multiple sclerosis. The theoretical part describes the basic anatomy of the brain, the main magnetic resonance imaging and other common examinations for multiple sclerosis. There is also information about the image of RS on magnetic resonance and a description of synthetic MR. The practical part focuses on the examination of patients in whom a standard protocol used in MS and a protocol containing synthetic sequences were demonstrated, followed by evaluation of the collected data.

KEYWORDS

magnetic resonance, brain, multiple sclerosis, synthetic MRI

OBSAH

Úvod.....	13
Cíl práce.....	14
Teoretická část.....	15
1 Centrální nervová soustava.....	15
1.1 Mozek (Encephalon).....	15
1.2 Mozkové dráhy (tractus nervosus).....	16
1.3 Neuron.....	16
1.4 Neuroglie.....	16
1.5 Myelinizace.....	17
2 Roztroušená skleróza.....	18
2.1 Formy roztroušené sklerózy.....	18
2.1.1 Relaps-remitentní (RR).....	18
2.1.2 Sekundárně-progredující (SP).....	18
2.1.3 Relaps-progredující (RP).....	18
2.1.4 Primárně-progredující (PP).....	19
2.2 Epidemiologie.....	19
2.3 Klinické symptomy.....	19
2.3.1 Optická neuritida.....	19
2.3.2 Porucha senzitivity.....	19
2.3.3 Porucha motoriky.....	20
2.3.4 Porucha mozečku.....	20
2.3.5 Poruchy mozkového kmene.....	20
2.3.6 Nespecifické příznaky RS.....	20
2.3.7 Vzácně se vyskytující příznaky.....	21
2.4 Patogeneze.....	21
2.5 Diagnostika RS.....	22

3	Magnetická rezonance	25
3.1	Základní fyzikální principy	25
3.2	Relaxační časy.....	26
3.2.1	T1 relaxační čas	26
3.2.2	T2 relaxační čas	26
3.2.3	Time to Repeat (TR) a Time to Echo (TE).....	26
3.3	Sekvence	26
3.3.1	Spin echo.....	26
3.3.2	Gradient echo.....	27
3.4	Standardní vyšetřovací protokol MR u roztroušené sklerózy	27
3.5	Základní typy MR obrazu a nález RS	28
3.5.1	T2 vážený obraz.....	28
3.5.2	FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery).....	28
3.5.3	Difuzně vážený obraz (DWI).....	29
3.5.4	T1 vážený obraz.....	29
3.5.5	T1 vážený obraz s kontrastní látkou	29
3.5.6	Kontrastní látky pro magnetickou rezonanci	29
3.6	Tvorba obrazu	30
4	Syntetická magnetická rezonance	31
4.1	Syntéza obrazu	31
4.2	Syntetické MR užívané u onemocnění CNS.....	32
4.2.1	Protokol použitý při vyšetření pomocí syntetické MR	32
5	Výzkumná část.....	34
5.1	Metodika výzkumu.....	34
5.2	Výzkumné otázky.....	34
5.3	Výzkumný soubor	34
5.3.1	MR obraz vybraného pacienta	34

5.4	Výsledky výzkumu.....	42
5.4.1	Charakteristika souboru pacientů.....	42
6	Diskuze	47
7	Závěr	49
8	Použitá literatura	50

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Syntéza obrazu [18].....	31
Obrázek 2: Mapa T1.	36
Obrázek 3: Mapa T2.	36
Obrázek 4: Standardní FLAIR.	37
Obrázek 5: Proton denzitní obraz.	37
Obrázek 6: TR 9000, TE 50, TI 3000.	38
Obrázek 7: TR 7000, TE 90, TI 2500.	38
Obrázek 8: TR 9000, TE 90, TI 2500.	39
Obrázek 9: TR 9000, TE 90, TI 2000.	39
Obrázek 10: TR 9000, TE 50, TI 2500.	40
Obrázek 11: TR 9000, TE 120, TI 2500.	40
Obrázek 12: TR 9000, TE 50, TI 2000.	41
Obrázek 13: TR 15000, TE 90, TI 2500.	41
Obrázek 14: Grafické znázornění zastoupení pohlaví pacientů.....	42
Obrázek 15: Rok narození.	43
Obrázek 16: Věk pacientů.....	43
Obrázek 17: Diagnostikovaná forma RS.	44
Obrázek 18: Průměrný počet ložisek.....	44
Obrázek 19: Korelace mezi sekvencemi.....	46
Tabulka 1: Revidovaná McDonaldova diagnostická kritéria z roku 2017 [8].....	24
Tabulka 2: Standardní protokol.	27
Tabulka 3: Dodatečné protokoly, potřebné pro tvorbu syntetického obrazu.....	33
Tabulka 4: Počet ložisek v dané sekvenci.	35
Tabulka 5: Průměrný počet ložisek v závislosti na formě onemocnění.	45

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ADC	Zdánlivý koeficient difúze [Apparent diffusion coefficient]
CADASIL	Cerebrální autozomálně dominantní arteriopathie se subkortikálním infarktem a leukoencefalopatií
CIS	Klinicky izolovaný syndrom [Clinically isolated syndrome]
CNS	Centrální nervový systém
CT	Výpočetní tomografie [Computed tomography]
DIR	Dvojitá inverze zotavení [Double inversion recovery]
DK	Dolní končetina
DWI	Difuzně vážený obraz [Diffusion weighted imaging]
EBV	Epstein-Barr virus
FA	Frakční anizotropie
FLAIR	Fluid attenuated inversion recovery
FSE 2D	Více planární dvourozměrná spin-echo sekvence [Fast spin echo 2D]
GABA	Kyselina γ -aminomáselná
HEB	Hematoencefalická bariéra
IR-TrueFISP	Inversion recovery true fast imaging with steady-state precession
K.L.	Kontrastní látka
MDME	Multidynamické multiecho [Multidynamic multiecho]
MP2 RAGE	Magnetization Prepared 2 Rapid Acquisition Gradient Echoes
MPME	Multipathway multiecho
MR	Magnetická rezonance
MRF	Magnetic resonance fingerprinting
PD	Proton denzitní
PNS	Periferní nervový systém

PP	Primárně-progredující
PSIR	Fázicky citlivé inverzní zotavení [Phase sensitive inversion recovery]
RF	Radiofrekvenční impulz
RP	Relaps-progredující
RR	Relaps-remitentní
RS	Roztroušená skleróza
SAG	Sagitální
SP	Sekundárně-progredující
SyMR	Syntetická magnetická rezonance
T1 w.i.	T1 vážený obraz
T2 w.i.	T2 vážený obraz
TE	Čas echa [Time to echo]
TI	Inverzní čas [Time to inversion]
TR	Repetiční čas [Time to repeat]
TRA	Transverzální
w.i.	Vážený obraz [Weighted imaging]

ÚVOD

Magnetická rezonance od svého vzniku prošla velkými změnami a modernizací a v dnešní době má své místo mezi moderními diagnostickými zobrazovacími metodami. Tato technologie pracuje se statickým magnetickým polem bez použití ionizujícího záření, takže zde nejsou pacienti radiačně zatíženi jako tomu je u vyšetření pomocí výpočetní tomografie. Magnetická rezonance (MR) se vyznačuje především pozoruhodnými rozlišovacími schopnostmi měkkých tkání a patologických procesů, kterou nelze nahradit například vyšetřením využívající ionizující záření jako je CT nebo rentgen. Právě díky tvorbě detailního obrazu je jednou z hlavních diagnostických metod u pacientů s onemocněním RS.

Roztroušená skleróza je autoimunní onemocnění, které působí invaliditu u mladých osob. Diagnostika nemoci se neustále zdokonaluje, a proto se hledají stále novější a rychlejší postupy zobrazovacích technologií, které by nemoc odhalily v časnější fázi a zamezily tak většímu neurologickému postižení centrálního nervového systému pacientů.

Pro diagnostiku a sledování pacientů s roztroušenou sklerózou se začíná využívat zobrazení pomocí syntetické magnetické rezonance, která by měla urychlit čas vyšetření a detekovat více ložisek než při použití konvenčního zobrazení magnetickou rezonancí. Je to technologie syntetizující kontrastně vážené obrazy pomocí kvantitativně získaných dat z obrazu. Probíhá mnoho studií, které se snaží zjistit výtěžnost SyMR a její využití v běžném pracovním procesu.

V teoretické části bakalářské práce je uvedena základní anatomie mozku a jeho základní stavební jednotka spolu s procesem myelinizace, která dále navazuje na popis nemoci roztroušené sklerózy. Onemocnění RS se věnuje podstatně větší část práce než anatomickým strukturám mozku. Jsou zde popsány formy nemoci, epidemiologie, klinické symptomy objevující se u roztroušené sklerózy, její patogeneze a způsob diagnostikování. Dále je zde uvedena magnetická rezonance, základní fyzikální principy, které jsou nezbytné pro pochopení principu MR. V této části je zahrnut standardní protokol MR prováděný v nemocnici krajského typu u pacientů s RS, s následným popisem výsledného obrazu. Poslední fáze teoretické práce se zabývá syntetickou magnetickou rezonancí a popisem tvorby syntetického obrazu. Principem části praktické je hodnocení shromážděných dat náhodně vybraných pacientů a porovnávání vybraných studií zaměřujících se na využití syntetické magnetické rezonance v detekci ložisek u pacientů s roztroušenou sklerózou.

CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části práce je na základě vědecké literatury popsat roztroušenou sklerózu, její vznik a vliv na lidský organizmus. Dalším cílem je popis magnetické rezonance, základních informací a principů, spolu s magnetickou rezonancí syntetickou.

Cílem části praktické je porovnat protokol magnetické rezonance syntetické a konvenční, zhodnotit jejich výtěžnost při detekci ložisek roztroušené sklerózy a zjistit vzájemnou korelaci mezi jednotlivými sekvencemi a nalezenými lézemi. Dále zde chceme zjistit, zda lze v detekci ložisek RS využívat syntetické sekvence.

TEORETICKÁ ČÁST

1 CENTRÁLNÍ NERVOVÁ SOUSTAVA

Organismus je řízen třemi základními systémy, a to nervovým, imunitním a endokrinním. Nervový systém je superiorní nad zbylými dvěma systémy. První jeho základní jednotkou je neuron, který se v místě synapse pojí s jiným neuronem. Druhou je neuroglie, která má metabolickou a podpůrnou funkci. [1]

Nervová soustava, která je uložena v lebce a páteřním kanále, se označuje jako centrální nervová soustava (CNS), neurony ležící mimo tuto soustavu se označují jako ganglia a nervová vlákna ležící mimo CNS jsou nazývána periferní nervovou soustavou (PNS). Neurony PNS jsou rozděleny na aferentní (senzitivní) a eferentní (motorické). [2]

1.1 Mozek (Encephalon)

Vývoj mozku probíhá díky biologickým a chemickým změnám jako jsou, tvorba synapsí, myelinizace mozkové tkáně, růst astrocytu a oligodendrocytů nebo vývoj neuronů. Neuroradiologicky se věnuje pozornost gyrifikaci (zvrásnění mozkové kůry) a myelinizaci. Gyrifikace je viditelná jak na vyšetření magnetickou rezonancí, tak při vyšetření pomocí sonografie. Myelinizaci z radiologického hlediska lze pozorovat pouze magnetickou rezonancí. [3]

Encephalon rozdělujeme na mozek koncový, mozeček, mezimozek a mozkový kmen, ze kterého vede 12 párů hlavových nervů. Mozek obsahuje 4 mozkové komory, které jsou spolu vzájemně propojeny a spolu s míšním kanálem, který prochází středem míchy obsahují likvor. Povrch encephalonu je pokrytý třemi vrstvami plen. Dura mater neboli tvrdá plena mozková naléhá na kost lebky. Mezi durou mater a piou mater (omozečnice), která přímo obaluje mozkovou tkáň, se nachází arachnoidea (pavoučnice). Díky otvoru ve IV. komoře se mezi piou mater a arachnoideu dostává mozkomíšní mok. [2]

Mozek tvoří dva typy mozkové tkáně. Prvním typem je šedá hmota mozková, kterou tvoří těla nervových buněk. Tyto buňky v určitých částech mohou vytvářet tzv. jádra, což jsou shluky, které mají specifickou funkci. Tvoří mozkovou a mozečkovou kůru a v úrovni mozkového kmene vytváří retikulární formaci (sít' propojených neuronů). Druhým typem tkáně je bílá hmota mozková, kterou tvoří axony a dendrity, což znamená, že je důležitá pro přenos informací. Tato nervová vlákna se pak shlukují do nervových drah. [4]

1.2 Mozkové dráhy (tractus nervosus)

Truncus nervosus mají takový název, aby bylo zřetelné, jakou mají funkci a odkud kam vedou daný vzruch. Dráha centrálního nervového systému začíná axonem, označuje cestu a její zakončení na jiné struktury. Dělí se na aferentní neboli dostředivé, které přivádí z neuronu vzruchy do šedé hmoty a eferentní, které z neuronu odvádí vzruchy k další struktury. Dráhy dělíme také na ascendentní, nazývané také senzitivní, které vedou vzruch vzhůru do struktur, které mají vyšší polohu a nadřazenou funkci. Naopak dráhy descendentní, motorické, vedoucí vzruch z výše postavených struktur CNS do těch, které mají postavení nižší. [5]

1.3 Neuron

U neuronu rozlišujeme tři části – tělo, dendrit a axon. Tělo neuronu má na svém povrchu dendrity, které mají aferentní způsob vedení vzruchů, přivedenou informaci tělo neuronu zpracuje. Nervové vlákno je na svém povrchu pokryto myelinovou pochvou, která je tvořena Schwannovými buňkami. V této pochvě jsou v určitých částech místa, která jsou zúžená a neobsahují myelin, těmto místům se říká Ranvierovy zářezy. Rozložení míst ztenčené myelinové pochvy umožňuje rychlý přenos akčních potenciálů, a tedy rychlé šíření vzruchů. [6]

Vzruch je veden eferentně axonem, který provádí sekreci neurotransmiterů, díky kterým je informace předána na další buňku nebo neuron. Místu, kde probíhá předání, říkáme synapse. V CNS nám pomáhají v homeostáze neuroglie, mezi kterými jsou neurony umístěny. [6]

Neurony se dělí na několik typů, pokud se, ale budeme zaměřovat na centrální nervovou soustavu, zmíníme pouze neurony multipolární, které vlastní větší množství dendritů a jsou zde nejvíce zastoupeny. [6]

1.4 Neuroglie

Gliové buňky neboli neuroglie se rozdělují na oligodendrocyty a astrocyty. Tyto buňky udržují stálost vnitřního prostředí, tvoří bariéru pro škodlivé látky a starají se o metabolismus neuronů. Neuroglie periferního neuronu je myelinová pochva skládající se ze Schwannových buněk. [1]

Neuroglie lze dělit na dvě skupiny. První z nich je skupina mikroglíí, které fagocytózou odstraňují nežádoucí látky z extracelulárního prostoru. Druhou skupinou jsou makroglie, do které patří astrocyty, oligodendroglie a ependymální buňky. [1]

Astrocyty zodpovídají za udržení homeostázy, iontové rovnováhy a přijímají a uvolňují mediátorové látky jako například taurin nebo GABA což je kyselina γ -aminomáselná. Zastávají

také imunobiologické funkce produkcí faktorů napomáhajícím T-lymfocytům a odpovídají na reakce lymfokinů. Významně se podílejí na reparačních procesech v centrálním nervovém systému. [5]

Oligodendrocyty se obtáčí kolem nervových vláken a vytvářejí myelinovou pochvu. Mají trofickou funkci, což znamená, že řídí regulaci výživy a látkové přeměny axonu a tím regulují jejich homeostázu. [5]

Posledním členem skupiny makroglíí je ependymální buňka, která je součástí choroidního plexu a pokrývá dutiny centrálního nervového systému. [1]

1.5 Myelinizace

Tvorba myelinu je kontinuální proces, který trvá několik měsíců, od 20. týdnu plodu po druhý rok života dítěte. Zpočátku je myelinizovaných vláken malé množství s tenkou pochvou, postupem se toto množství zvyšuje a lipidová pochva je silnější. Myelinizován je nejdříve periferní nervový systém a poté až systém centrální. Postup tvorby myelinu je od kaudálních po kraniální struktury, od dorzálních k ventrálním a nejdříve přicházejí na řadu fylogeneticky starší struktury, tedy archicerebrální a paleocerebrální struktury a poté až struktury mladší, neocerebrální. [5]

Pokud jsou nervová vlákna funkční jsou obalena myelinem, který působí jako izolant a podílí se na vedení vzruchů. Podle stupně myelinizace je určeno, jakou má mozek funkční zralost. Proces myelinizace je velice energeticky náročný proto je možné, že mozkovou hypoxií jsou postiženy struktury, ve kterých je prováděna intenzivní myelinizace, kvůli vysoké citlivosti na metabolické změny. Remyelinizace v centrálním nervovém systému je proveditelná, bohužel není plnohodnotná a histopatologicky se liší od myelinizace původní. [3]

2 ROZTROUŠENÁ SKLERÓZA

Roztroušená skleróza je autoimunitní neurologické zánětlivé onemocnění, které nejčastěji způsobuje invaliditu u mladých osob. I když se za poslední dobu její diagnostika a léčba klíčově změnila stále je toto onemocnění nevléčitelné. Vznik této nemoci zatím nelze jistě určit, jsou zde ale rizikové faktory jako např. kouření, Epstein-Barrová infekce (EBV), nedostatek vitamínu D a obezita hlavně v období puberty, které přispívají ke zvýšené pravděpodobnosti výskytu RS. Při této nemoci je napaden myelin, který je obsažen v nervových drahách a v centrálním nervovém systému. [7]

Onemocnění se projevuje náhle vzniklými neurologickými příznaky, které jsou způsobeny zánětem v CNS. U postižených se vyskytuje ataka nebo také relaps, což je vznik nových nebo zhoršení současných příznaků nemoci. Symptomy trvají nejméně 24 hodin, nesmí se u nich objevit příznaky infekce nebo stresu, po několika týdnech nastává částečné nebo absolutní zlepšení stavu, častěji ale po atace zůstává specifická neurologická degenerace. Poté co u pacienta proběhne první relaps, začíná období remise, které má nespécifickou dobu trvání a je bez nových příznaků. [7]

2.1 Formy roztroušené sklerózy

2.1.1 Relaps-remitentní (RR)

Relaps remitentní RS, je počáteční formou přibližně u 80 – 85 % postižených, kdy se střídá ataka a přechodné období remise s nepřetržitým poškozováním CNS. Období remise je bez progresu neurodegenerace mezi jednotlivými atakami V zánětlivém ložisku probíhá napadení myelinu a někdy také postižení axonů. [3]

2.1.2 Sekundárně-progredující (SP)

Zhruba po 15 letech přechází relaps-remitentní RS do sekundárně-progredující fáze, během které ubývá množství relapsů a zhoršuje se stav pacienta, tím roste závažnost jeho postižení. [7]

2.1.3 Relaps-progredující (RP)

U některých pacientů, přibližně u 3 %, se projeví i relaps-progredující forma nemoci, která je charakterizována těžkými atakami s těžkou invaliditou a rychlou progresí neurodeficitu. Plaky vzniklé v mozkovém kmeni nebo v prodloužené míše mohou vést k úmrtí postiženého. [7]

2.1.4 Primárně-progredující (PP)

Pouze v 10 % se objevuje primárně-progredující forma, která je charakterizována pomalu postupujícími obtížemi bez atak. Osoby s touto formou roztroušené sklerózy jsou v pohybu limitovány mnohem dříve než u formy SP. Tento typ se vyskytuje spíše u mužské populace kolem 40 roku života. [7]

2.2 Epidemiologie

Výskyt roztroušené sklerózy v České republice je přibližně 130 nemocných na 100 000 obyvatel, pokud je ale výskyt tohoto onemocnění v rodině, možnost vzniku nemoci je 3-4%. U jednovaječných dvojčat je šance podstatně vyšší, asi 30 – 40 %. Nejčastější výskyt je mezi 20. a 40. rokem života. U osob nad 50 let je přítomnost první ataky velmi nepravděpodobná. Dětská populace má výskyt této nemoci velmi nízký, je to pouze 3 – 5%. Ženy jsou mnohem náchylnější na onemocnění než muži, u žen se RS projevuje dvakrát častěji než u opačného pohlaví. [3]

2.3 Klinické symptomy

Roztroušená ložiska jsou umístěna v různých oblastech centrálního nervového systému. Určité části jsou postiženy více, v jiných částech CNS není postižení tak typické, proto jsou některé symptomy viděny častěji a jiné jen vzácně. Ložiska roztroušené sklerózy vznikají v bílé i šedé hmotě, hlavně na přechodu kůry mozku a bílé hmoty mozkové. [7]

2.3.1 Optická neuritida

Manifestuje se jako bolest a porucha vidění. Obtíže symptomu trvají někdy až dny a jen výjimečně vedou ke ztrátě zraku. Může se jednat buď o jednostranné nebo oboustranné postižení optického nervu. V akutní fázi dochází ke zpomalení vzruchu na optickém nervu kvůli poruše myelinu. Toto postižení může zanechat trvalý deficit nebo se zcela reparovat. [7]

2.3.2 Porucha senzitivity

Porucha citlivosti jako např. parestézie nebo hyperestézie je velmi častá a přítomná na různých částech těla pacienta. Senzitivní defekt se manifestuje zejména mravenčením a špatným vnímáním teplot. Tyto symptomy jsou často zaměňovány za útlak periferních nervů a ke stanovení RS nevedou. [7]

2.3.3 Porucha motoriky

Při zasažení pyramidových drah nejčastěji dochází k poruše motoriky. Projevem této poruchy je spastická paréza, zvýšené svalové napětí nebo Babinského reflex. Po akutní fázi často zůstává zvýšený svalový tonus, který souvisí s bolestí, klonickými a pseudoklonickými záškuby nebo spasmem. V pozdní fázi se objevuje spastická paréza DK, při které má pacient špatnou koordinaci chůze. V terminálním stádiu je popsán vznik paraplegie. [7]

2.3.4 Porucha mozečku

Tato porucha je pro většinu pacientů velmi omezující jak v osobním, tak pracovním životě. Jelikož mozeček řídí rovnováhu a jemnou motoriku, tak u osob s tímto postižením se projevuje intenční tremor, ataktická řeč a ataxie. Pacienti trpí také poruchou systému vestibulárních jader, při které se projevuje tzv. nepravá závrať a tím mají větší tendenci k pádům. [7]

2.3.4.1 Poruchy sfinkteru

Pravděpodobnost výskytu těchto poruch je vysoká a většinou je spojena s poruchou hybnosti pacienta. Dochází zde k urgenci moči a retenci, která často vede k pyelonefritidě až k sepsi nebo selhání ledvin kvůli snížené citlivosti sliznice močového měchýře. Projev inkontinence je v pozdních stádiích. U střev mají pacienti nejčastěji problém se zácpou a inkontinencí stolice.

Až 70 % pacientů trpí sexuálními poruchami. U mužů se objevuje nejčastěji erektilní dysfunkce a porucha ejakulace. Ženy doprovází snížená citlivost sliznice a porucha lubrikace. Tyto poruchy nemusí být připisovány nemoci, ale lékům, které se na RS předepisují. [7]

2.3.5 Poruchy mozkového kmene

Nejčastější kmenové symptomy jsou okohybné poruchy (např. nystagmus), obrna lícního nervu a neuralgie trojklaného nervu. V pozdních stádiích dochází k postižení n. vagus, což vede k poruchám autonomního nervového systému. Dochází také k pseudobulbárnímu syndromu a k emoční inkontinenci, kterou nejsou schopni pacienti vůlí ovládat. [7]

2.3.6 Nespecifické příznaky RS

Pacienti s tímto onemocněním trpí únavou, depresí, úzkostí a poruchou kognitivních procesů. Únava postihuje asi 85 % diagnostikovaných. Tento problém přisuzujeme zánětlivým procesům v CNS, vždy je ale potřeba vyloučit jiné nemoci. U pacientů trpících depresí, která se vyskytuje až u 50 %, je nutné její odhalení a léčba, kvůli sebevražedným sklonům. [7]

2.3.7 Vzácně se vyskytující příznaky

Tyto příznaky jsou epilepsie, paroxysmální příznaky (např. dystonie a paroxysmální ataxie) a afázie. Takové symptomy jsou způsobeny ložisky postihujícími korovou oblast. [7]

2.4 Patogeneze

Onemocnění se projevuje náhle vzniklými neurologickými příznaky, které jsou způsobeny zánětem v CNS. Jak je zmíněno výše, při této nemoci je napaden myelin, který je obsažen v nervových drahách a v centrálním nervovém systému. Napadena jsou kromě myelinu i nervová vlákna, což vede k invaliditě pacientů. Ataka nebo také relaps, je vznik nových nebo zhoršení současných příznaků nemoci. Symptomy trvají nejméně 24 hodin, nesmí se u nich objevit příznaky infekce nebo stresu, po několika týdnech nastává částečné nebo absolutní zlepšení stavu, častěji ale po atace zůstává specifická neurologická degenerace. Poté co u pacienta proběhne první relaps, začíná období remise, které má nespécifickou dobu trvání a je bez nových příznaků. [7]

Roztroušená skleróza je autoimunitní onemocnění. Imunitní systém či spíše jeho buňky, útočí na své vlastní buňky jako na cizí. Lymfocyty, které jsou pro náš organizmus příliš agresivní jsou ničeny v thymu. Ty, které nemají tak prudké projevy, tělo odstaví, aby nedošlo k jejich dalšímu množení. Opětovné podněty tyto lymfocyty aktivují a ty tak mohou onemocnění odstartovat. Za normálních podmínek by nemělo k aktivaci buněk dojít, ale určité faktory jako např. stres, infekce, prostředí nebo potrava naruší imunitní systém a dojde k jejich probuzení. [7]

Největším rizikem roztroušené sklerózy je Epstein-Barrová infekce, nedostatek vitamínu D a kouření. Při narušení reakce imunitního systému na EBV, mají pacienti při akutní primární infekci zvýšené množství T-lymfocytů a protilátek. Jelikož má myelin podobné složení jako EBV, na které lymfocyty reagují, primární útok je tedy veden proti obalu nervových vláken. Antigen, který je rozpoznán lymfocylem musí být nejdřív rozeznán dendritickou buňkou nebo makrofágem, který tento antigen propojí s molekulou hlavní systémové tkáňové slučitelnosti, teprve poté ji zpřístupní lymfocytu. Adhezivní a kostimulační molekuly nám pomohou k lepšímu propojení a stimulaci. Díky tomu se spustí tvorba cytokinů a chemokinů a množení stimulovaných buněk, které v dostatečném množství odstartují imunitní reakci. Jelikož myelinový obal podléhá přestavbě a obnově, jeho bílkoviny putují mimo centrální nervový systém až do mízních uzlin, kde mohou být rozpoznány makrofágy, které je vydají lymfocytům. I když by se do CNS imunitní buňky neměly dostat tak snadno, aby se zabránilo nadbytečným

zánětům, díky tomuto procesu je možné zmnožení těchto specifických lymfocytů a jejich distribuci v CNS. [7]

Specificky aktivované lymfocyty se do centrálního nervového systému dostávají skrze hematoencefalickou bariéru (HEB), na které jsou endotelové buňky. Ty pojmají drobný počet adhezivních molekul, které se kvůli produkovaným cytokinům z lymfocytu pomnoží a umožní jejich uchycení na endotel. Lymfocyt si produkovaným enzymem vytvoří cestu skrze HEB do CNS. Pokud se zde setká s antigenem, kvůli kterému byl uveden do činnosti, je možné, že zde začne vytvářet plaky. [7]

Narušenou HEB se dostávají T- a B-lymfocyty, které zde zůstávají a vytvářejí cytokiny a protilátky. Na MR je možné zobrazit porušenou bariéru. Tuto poruchu prokazuje gadolinium, které se dostává do vzniklých zánětlivých ložisek. [7]

Reakce lymfocytu na nervové vlákno způsobuje rozpad nejen myelinu, ale v některých případech může také za rozpad nervových vláken, které nejsou schopné regenerace. Rozsah této destrukce nám určí stupeň invalidity u pacientů postižených touto nemocí. Na velikost postižení má vliv i to, v jaké oblasti se zánět odehrává. Vznik ložisek a jejich umístění je u každého jedince individuální, ale jejich největší akumulace je kolem komor, v mozkovém kmeni nebo na povrchu míchy. [7]

2.5 Diagnostika RS

Pro definitivní diagnózu roztroušené sklerózy není test, který by jasně určil diagnózu RS. Pro diagnostiku roztroušené sklerózy je nutné, aby pacient splnil daná kritéria. McDonaldova kritéria původně z roku 2001 jsou pravidelně aktualizována, aby se dosáhlo dřívější diagnostiky onemocnění. V nejnovějších kritériích (tabulka 1), což je aktualizace z roku 2017, se klade velký důraz na vyšetření mozkomíšního moku, které nám pomáhá eliminovat jiná onemocnění a dříve rozpoznat RS. Je nutné zmínit vyšetření pomocí magnetické rezonance, která je pro odhalení nemoci klíčová. Kritéria jsou kombinací jak klinických, tak pomocných vyšetření jako je například již zmiňovaná magnetická rezonance nebo vyšetření mozkomíšního moku. Objevení nemoci v prvních fázích je důležité pro časné podání léku a oddálení postižení pacientů. [8]

Definitivní diagnóza roztroušené sklerózy u osob s CIS je stanovena, pokud pacient splňuje následující podmínky; Pacient prodělá první ataku, podle MR vyšetření má diseminaci v prostoru, tedy výskyt ložiska v MR obraze, s nálezem oligoklonálních pásů v mozkomíšním moku. Tyto podmínky splňuje velká část osob již po prodělání prvního relapsu. Kromě klinicky

izolovaného syndromu tu máme i radiologicky izolovaný syndrom. O tom mluvíme, pokud pacient neudává symptomy, které jsou typické pro RS, ale v MR obraze jsou viditelné plaky odpovídající této nemoci. [8]

U Primárně-progredující roztroušené sklerózy je více postižena motorická část mozku. PP RS se vyskytuje spíše u mužů v pozdějším věku okolo 40-50 roku života. Pacienti s tímto typem mají trochu jiná kritéria pro definitivní diagnostiku RS než u klinicky izolovaného syndromu (CIS). Pro stanovení diagnózy je nutný postupný neurodeficit v průběhu jednoho roku, a u vyšetřované osoby se musí objevit také nejméně jedna z těchto možností: typický nález v MR obraze na mozku, míše nebo v likvoru. [8]

Odběr mozkomíšního moku má tedy, spolu s magnetickou rezonancí, velký význam pro diagnostiku RS a následnou léčbu. [8]

Tabulka 1: Revidovaná McDonaldova diagnostická kritéria z roku 2017 [8].

Revidovaná McDonaldova diagnostická kritéria z roku 2017		
Počet atak	Objektivní léze	Dodatečné údaje pro stanovení RS
2 nebo více	Objektivní klinický průkaz 2 a více lézí nebo objektivní klinický průkaz 1 léze s průkazem předchozí ataky z odlišné anatomické lokalizace	Nejsou nutné
2 nebo více	Objektivní klinický průkaz 1 léze	Diseminace v prostoru způsobená další klinickou atakou nebo dg. pomocí MR
1	Objektivní klinický průkaz 2 a více lézí	Diseminace v čase způsobená druhou klinickou atakou nebo dg. pomocí MR nebo průkaz specifické oligoklonální syntézy v mozkomíšním moku
1 (klinicky izolovaný syndrom)		Diseminace v prostoru způsobená klinickou atakou z jiné lokalizace CNS nebo dg. pomocí MR spolu s diseminací v čase způsobená další klinickou atakou nebo dg. pomocí MR nebo průkaz specifické oligoklonální syntézy v mozkomíšním moku
0 (primárně progresivní RS od počátku choroby)		Rok progresu choroby a nejméně 2 další kritéria: 1 a více hypersignálních lézí v jedné nebo více typických oblastech pro RS, 2 a více hypersignálních lézí v míše nebo přítomnost oligoklonálních pásů v likvoru
Zvýrazněna možnost stanovení definitivní diagnózy RS u pacienta po první atace, tedy ve fázi CIS s korelujícím nálezem na MR a v likvoru.		

3 MAGNETICKÁ REZONANCE

Magnetická rezonance funguje na principu silného magnetického pole, které vysílá radiofrekvenční impuls, cívky zachytí signál vracející se z tkáně, a tím získáme obraz. Momentálně má magnetická rezonance v diagnostice roztroušené sklerózy, diagnostickou a výzkumnou roli, kde se zkoumají patofyziologické děje probíhající v organizmu. Jak už bylo zmíněno výše, toto vyšetření pomáhá při diagnostice RS a k vyloučení jiných onemocnění. [3]

3.1 Základní fyzikální principy

Základní pohyby, které proton v magnetickém poli vykonává, je spin, precese a rezonance. Spin je pohyb kdy protony, kladně nabitě částice, rotují kolem své vlastní osy, a tím vzniká magnetický moment. Jádra prvků, které při tomto vyšetření využíváme, musí mít liché protonové číslo, pokud by byly v sudém počtu, spárují se, magnetický moment se vyruší a navenek nepůsobí magneticky. Nejvyužívanějším prvkem s lichým protonovým číslem je atom vodíku, který je v lidském těle zastoupen nejčetněji a v jádru má pouze jeden proton. [9]

Při umístění tkáně do statického magnetického pole mají protony tendenci se ze svého chaotického postavení stavět do dvou pozic, a to do paralelní nebo antiparalelní. Množství protonů, které se nachází v antiparalelním postavení, je méně kvůli energeticky náročnějšímu stavu, výhodnější je tedy zůstat v postavení, které má osu s osou siločar vnějšího magnetického pole. [10]

Počet paralelních a antiparalelních protonů není stejný, takže po jejich odečtení nám zůstanou jen ty, které jsou v energeticky výhodnějším stavu a tudíž těch, kterých bylo více. Díky těmto zbylým protonům, se daná tkáň chová ke svému okolí magneticky. [10]

Jelikož je osa protonu a osa siločar vnějšího magnetického pole stejná, není pro nás proton detekovatelný a je potřeba jeho osu vychýlit tak, aby bylo možné ji zaznamenat. Pomocí radiofrekvenčního pulzu je dodána protonu potřebná energie, která musí být stejná jako je frekvence precesního pohybu neboli Larmorova frekvence. Rezonující proton přijímá energii a dochází zde k vychýlení směru osy protonů o 90° nebo 180° . Tento děj, kterému říkáme podélná magnetizace, je prováděn kvůli měření velikost magnetického pole. [9]

Zevní statické magnetické pole tedy určuje postavení protonů, spin a způsobuje precesi. Precesní pohyb vykazují všechny protony umístěné do magnetického pole, ale nedělají ho synchronně, jsou rozfázované, což znamená, že v určitý čas nebudou na stejném místě. Aplikace radiofrekvenčního impulsu pomůže dostat precesní pohyb protonů do fáze, a tím ke

vzniku příčné tkáňové magnetizaci. Po přerušení impulzu se protony vrací do paralelního stavu a svojí přebytečnou energii, která jim byla zprostředkována díky radiofrekvenčnímu pulzu, uvolňují do okolní tkáně. Doba trvání relaxace se nazývá relaxační čas. [9]

3.2 Relaxační časy

T1 a T2 relaxační časy na sebe vzájemně působí, to znamená, že s rostoucí longitudinální magnetizací poroste i magnetizace příčná. [10]

3.2.1 T1 relaxační čas

Po přerušení RF impulzu, který způsobil vychýlení protonu o 90° , dochází k relaxaci a obnovení původního stavu. Doba, za kterou tento děj proběhne, se nazývá T1 relaxační čas. Ten je definován jako čas, za který se longitudinální (podélná) magnetizace obnoví na 63 % své počáteční velikosti. T1 relaxační čas i T2 relaxační čas se odvíjí podle struktury zkoumané tkáně. Ve tkáni s vyšším obsahem vody tento čas narůstá, naopak ve tkáni obsahující větší množství tuku je kratší. [11]

3.2.2 T2 relaxační čas

Zde se jedná o přerušení podélné magnetizace a rozfázování precesního pohybu. T2 relaxační čas je doba, za kterou příčná magnetizace spadne na 37 % své počáteční velikosti. Oproti T1 relaxačnímu času je zpravidla kratší a není tolik ovlivněn silou magnetického pole. [11]

3.2.3 Time to Repeat (TR) a Time to Echo (TE)

Doba, která uplyne mezi jednotlivými aplikacemi RF impulzu, je repetiční čas. TE je doba od aplikace RF impulzu po registraci silného signálu z tkáně. [10]

3.3 Sekvence

Sekvence je opakovaná aplikace RF impulzu do vyšetřované tkáně. Mezi jednotlivými aplikacemi je doba, kdy se daný proton vrací do svého původního stavu, relaxační čas. Vyšetření určitých tkání trvá přibližně od 15 do 50 minut, z toho jedna sekvence může být dlouhá od 20 sekund až po 10 minut. [10]

3.3.1 Spin echo

Tato sekvence umožňuje zobrazení tkáně podle toho, jaké jsou hodnoty hustoty protonů a relaxačních časů T1 a T2. Při sekvenci je používán RF puls, který osu protonu otočí o 90° , po tomto impulzu přichází další, který tentokrát osu protonu otočí o 180° . Vlivem sfázování precesního pohybu protonu, kterého jsme dosáhli druhým impulzem, získáme silný signál – echo. [10]

3.3.2 Gradient echo

Gradient echo je rychlá sekvence, která 90° impulz nahradí 10° a 60° pulzem. Magnetický gradient zase nahrazuje 180° radiofrekvenční impulz, který je na určitou dobu součástí magnetického pole magnetické rezonance. Gradientní echo způsobí rychlou ztrátu příčné magnetizace, kvůli nehomogenitě tkáně a rozfázování precesních pohybů. Druhý, totožný impulz echa, působí opačně, podobně jako 180° RF pulz. Díky precesnímu pohybu, který je opět ve fázi se maximálně zvýší příčná magnetizace. Je zaznamenán silný signál, poté jeho síla opět zaniká. [10]

Sekvence gradient-echo je náchylná na artefakty u sousedících tkání, které mají odlišnou intenzitu. Tím vzniká ztráta signálu a potlačení struktur tkání v obraze. Na druhou stranu je díky tomu užitečná k detekci kalcifikací nebo hemoragických ložisek. [11]

3.4 Standardní vyšetřovací protokol MR u roztroušené sklerózy

Na radiodiagnostickém oddělení Pardubické nemocnice se při diagnostice pacientů s roztroušenou sklerózou využívá protokol uvedený v následující tabulce 2.

Tabulka 2: Standardní protokol.

Standardní protokol užívaný ve vybrané nemocnici krajského typu						
Název	TR	TE	Vrstva	FOV (mm)	Matrix	Čas
T2 w.i. v axiální rovině	4450	80	3	230	384x384	3:26
FLAIR v axiální rovině	9000	90	3	230	224x304	3:54
FLAIR v sagitální rovině	9000	90	3	230	224x304	3:54
T1 w.i. v sagitální rovině	2375	9,5	3	250	288x288	3:10
DWI v axiální rovině	7416	82	3	250	160x160	2:14

Sekvence prováděná v transverzální rovině je potřeba nastavit tak, aby na FOV bylo celé neurokranium i skelet. Rozsah je od vertexu po foramen occipitale magnum. Tato sekvence se

rovná se střední rovinou k symetrickému zobrazení mozku. V rovině sagitální je třeba zachytit celou hlavu s částí krční páteře. Rozsah vyšetření se provádí od vertexu po obratle C2/3. Sekvence sagitální je rovnána podle falx cerebri. [12]

3.5 Základní typy MR obrazu a nález RS

Magnetická rezonance je citlivá metoda, která má ale sníženou specificitu. Což znamená, že špatně zobrazuje vztah mezi patologií a anatomii. Struktury v T2 váženém obraze nemusí pokaždé souviset s ložiskem RS, protože některé struktury, například edém, vypadají v tomto obraze stejně. [3]

3.5.1 T2 vážený obraz

T2 w.i. je spin-echo sekvence s dlouhým TR i TE. Na obraze je solidní tkáň hyposignální, naopak tekutina je hypersignální. T2 w.i. není primárně určen na posouzení anatomických struktur, kvůli jeho výpovědní hodnotě. Tkáňové rozhraní je zde ale dobře viditelné. Při vyšetření se používají rychlejší sekvence, které jsou schopné časně detekovat tekutinu, vyskytující se v edematózní tkáni. Edém se objevuje v primární fázi patologických procesů. [9]

T2 w.i. má dlouhé Time to echo i Time to repeat. Při zobrazení mozku pacienta s roztroušenou sklerózou jsou na obraze viditelné plakety, které mají v tomto typu zobrazení zvýšenou intenzitu signálu. Takový nález na T2 w.i. je variabilní a ložiska nemusí být způsobena nemocí RS. V infratentorální oblasti má ale větší výtěžnost než FLAIR, kde je častý výskyt ložisek charakteristických pro roztroušenou sklerózu. [3]

3.5.2 FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery)

FLAIR je sekvence, která spadá pod Inversion recovery. Jde v podstatě o T1 w.i. u kterého je potlačena intenzita signálu dané tkáně. Tato sekvence pracuje na principu potlačení signálu volné tekutiny jako je například likvor, která je v obraze asignální. [9]

Potlačení tekutiny je dosaženo tak, že je použit dlouhý inverzní čas, který je nastaven takovým způsobem, aby v době dodání impulzu byla podélná magnetizace tekutiny nulová. [3]

Sekvence FLAIR je v oblasti diagnostiky a prokázání plaků v mozku výtěžnější než T2 w.i. Hypersignální ložiska na T2 váženém obraze nemusí jednoznačně prokazovat plakety roztroušené sklerózy. Ložiska ve FLAIR sekvenci, které jsou hyposignální, obsahují tekutinu, naopak hypersignální plakety odpovídají onemocnění RS. [3]

3.5.3 Difuzně vážený obraz (DWI)

Při difuzi je hodnocen náhodný translační pohyb molekul (Brownův pohyb) vody, který je při poruše transportu pomalý nebo žádný. Naopak ve zdravé tkáni, je transport zachován. Použitím krátkých excitací je signál náhodných translačních pohybů molekul vody potlačen a fyziologická tkáň se bude na obraze jevit hyposignálně. Ložisko patologické se zobrazuje hypersignálně, protože jeví opačný signál než tkáň fyziologická. [9]

Poruchu difuze je možné dokázat ADC (apparent diffusion coefficient) mapou, kterou lze vypočítat z DWI a která není ovlivněna relaxačním časem T2. [13]

3.5.4 T1 vážený obraz

T1 w.i. je krátká spin-echo sekvence, má tedy krátký TR i TE. V tomto případě je solidní tkáň hypersignální a tekutina hyposignální. Je to základní sekvence používající se k přehlednému zobrazení anatomických struktur. Obraz T1 w.i. je podobný jako obraz na CT. [9]

Abnormální hyposignální ložiska patrná na T1 w.i. musí být shodná s ložisky na T2 w.i., kde se projevují hypersignálně. Nález T1 w.i. hyposignálních plaků je rozdělen na dva typy. V první skupině jsou v obraze viditelná hypersignální ložiska korelující na T2 w.i. a T1 w.i. s použitím kontrastní látky. Nalezená ložiska jsou po určitém časovém intervalu buď izointenzní nebo zůstávají hypersignální. Pokud u nich přetrvává stejná denzita patří do druhé skupiny. Ložiska spadající do druhé skupiny po podání k.l. zůstávají hyposignální a jsou patrná na MR obraze déle než půl roku. Takový nález svědčí o výrazné axonální ztrátě a demyelinizaci. [3]

3.5.5 T1 vážený obraz s kontrastní látkou

Princip T1 w.i. s k.l. je stejný jako u T1 váženého obrazu. Jedinou změnou je tu kontrastní látka, která se dostává porušenou hematoencefalickou bariérou do ložiska, které je po nasycení hypersignální. Zvýšená intenzita signálu svědčí o aktivitě ložiska. Po podání kontrastní látky se plaka může sytit třemi způsoby. U prvního typu, k.l. prostoupí celým ložiskem, takový druh se vyskytuje u 68 % pacientů. Méně časté je prstencové nasycení, kde má ložisko kolem sebe světlý lem. A pouze v 9 % je viditelné ložisko s neuzavřeným lemem, tento typ se nazývá neúplný prsteneček. Scan probíhá od 5 minut po aplikaci a trvá maximálně 30 minut. [3]

3.5.6 Kontrastní látky pro magnetickou rezonanci

Obvykle se kontrastní látky pro magnetickou rezonanci rozdělují na dvě skupiny. Do první patří K.L. paramagnetické, do druhé K.L. superparamagnetické. Gadolinium, mangan a

trojmocné železo se řadí do první z výše uvedené skupiny. Oxidy železa patří do skupině superparamagnetické. [12]

Paramagnetické kontrastní látky mění magnetizaci okolní tkáně, a tím zkracují T1 relaxační čas. Ložiska, do kterých tato látka proniká, jsou na T1 w.i. hypersignální. T2 relaxační čas je zase ovlivněn superparamagnetickými kontrastními látkami. [12]

3.6 Tvorba obrazu

Možnost zobrazení tkání zajišťují gradientní cívký, která reguluje magnetické momenty do transverzální, sagitální a koronární roviny a umožňují výběr tloušťky dané vrstvy. Rekonstrukce prostorových souřadnic a jejich kódování se provádí ve spirále nebo směru horizontálním. [9]

Tvorba obrazu je založena na matematickém algoritmu Fourierovy transformace, který zajistí detekci MR signálů z určitých míst pacientova těla. Díky této transformaci je možné získat 2D nebo 3D výsledný MR obraz, který získáme výpočtem přijatých a digitalizovaných signálů. [11]

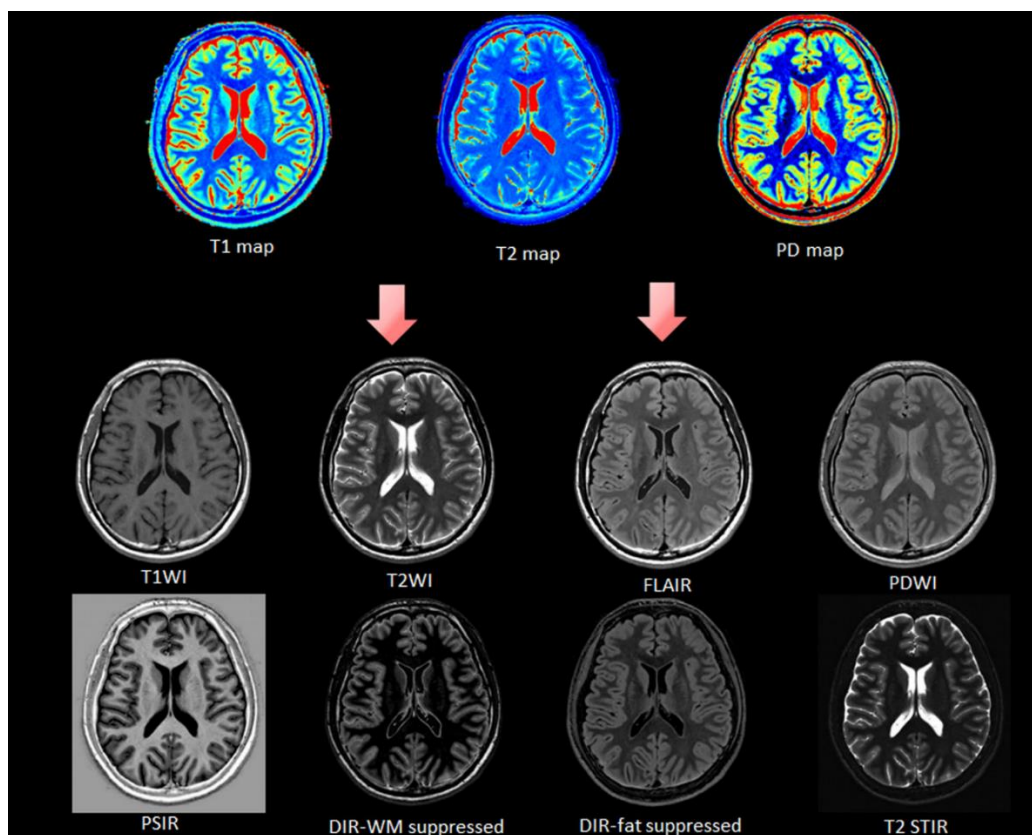
K-prostor je oblast obsahující signály, které jsou získány z vyšetřované tkáně. V jeho středu je podstatně výraznější akumulace signálu než na jeho okrajích. Pro kratší čas rekonstrukce výsledného obrazu se signál na periférii odstraní. Kvalita obrazu je hodnocena detaily prostorového rozlišení a kontrastem a je ovlivněna vnějšími a vnitřními podmínkami. [14]

4 SYNTETICKÁ MAGNETICKÁ REZONANCE

Zobrazování syntetickou magnetickou rezonancí (SyMR) využívá techniku, která syntetizuje kontrastně vážené obrazy, získané pomocí kvantitativního měření relaxačních parametrů z obrazu. Běžné MR získává T1 a T2 vážené obrazy bez kvantifikace. SyMRI měří časy podélné (T1) a příčné magnetizace (T2) spolu s parametry PD, ze kterých je možné vytvořit vážené obrazy s danými časy TE, TR a IT. Syntetická magnetická rezonance se od magnetické rezonance odlišuje tvorbou syntetizovaného obrazu z konečných parametrů. MR se zaměřuje na tvorbu kvantitativních map, které jsou důležitým základem pro SyMR a následnou syntézu obrazu. [15]

4.1 Syntéza obrazu

V syntetické MR se kvantitativní mapy používají ke generování kontrastně vážených obrazů (obrázek 1). Kvantifikované parametry tkáně v kombinaci s parametry sekvence, jako jsou TE, TR a TI, se používají k syntéze kontrastně vážených obrazů. Syntetizované obrazy zahrnují T1 w.i., T2 w.i., FLAIR, DIR (Double inversion recovery) a obrazy PSIR (Phase sensitive inversion recovery). Pro syntézu obrazu je potřeba signál, který je plně určen kvantifikovanými parametry tkáně a parametry sekvence. [15]



Obrázek 1: Syntéza obrazu [18].

Pomocí určité rovnice lze vygenerovat signál pro libovolnou kombinaci hodnot TE a TR. Pokud je použit inverzní impulz, je možné vypočítat obrazy FLAIR, PSIR nebo STIR (short tau inversion recovery). Syntetické metody IR- TrueFISP, MDME, MRF a MPME jsou schopné generovat kontrastně vážené obrazy T1, T2 a PD, pomocí stejného přístupu kromě MPME, který na tvorbu obrazu využívá neurální síť. [15]

4.2 Syntetické MR užívané u onemocnění CNS

Kontrastně vážené obrazy syntetizované metodou MDME prokázaly dobré výsledky u onemocnění bílé hmoty, jako je například RS. Jako je zmíněno výše, magnetická rezonance je důležitá při hodnocení a monitorování. Produkci obrazů, včetně T1 w.i., T2 w.i., FLAIR, DIR a PSIR, metoda MDME pomáhá vizualizovat ložiska RS. Studie Granberg a spol. ukázala, že syntetické T1 w.i., T2 w.i. a PD poskytly dostatečnou kvalitu obrazu a vyšší počet ložisek než běžné vyšetření MR provádějící se při této nemoci. Také bylo navrženo využití kombinovaných obrazů DIR a PSIR k lepší detekci především intrakortikálních plaků RS. V nově revidovaných McDonaldových kritériích z roku 2017 byly zahrnuty kortikální léze. DIR a PSIR obrazy SyMR poskytly jasnější vymezení těchto ložisek, což vede k jistější diagnostice RS. Kromě toho mohou syntetické obrázky DIR generovat T1 w.i. pro každou tkáň, která poskytuje vyšší kontrast a lepší poměr kontrast/šum, což vede k lepší detekci ložisek, aniž by byl vyžadován další čas skenování. [15]

SyMR se využívá například i u onemocnění cerebrální autozomálně dominantní arteriopathie se subkortikálním infarktem a leukoencefalopatií (CADASIL). CADASIL je dědičné onemocnění bílé hmoty mozku charakterizované mikrovaskulopatií s více subkortikálními lakunárními infarkty a difúzní leukoencefalopatií u pacientů mladého a středního věku, kterou způsobuje mutace genu *NOTCH3* na chromozomu 19. Studie prokázala, že u 40letého muže s touto mutací vykazovaly syntetické obrazy FLAIR a DIR zvýšenou citlivost pro detekci hyperintenzit v předním temporálním laloku, což značí využití v časné diagnostice CADASILu. [15]

4.2.1 Protokol použitý při vyšetření pomocí syntetické MR

Syntetické MR se v nemocnici krajského typu použilo spolu se standardním protokolem užívaným u pacientů s RS, protokol byl tak prodloužen o další dvě měření v celkové délce téměř 7 min (tabulka 3). Sekvence pro akvizici dat pro syntetické MR, byly získány při tloušťce řezů 4 a 5 mm. V určitých studiích se uvádí tloušťka vrstvy pouze 3 mm. FSE 2D je více planární dvourozměrná spin-echo sekvence T2 vážených obrazů s tloušťkou řezu 4 mm. MP 2 RAGE (Magnetization Prepared 2 Rapid Acquisition Gradient Echoes) má dva inverzní časy.

První TI je 650, TI druhý 3300. Kombinací TI1 a TI2 vzniká silně vážený T1 obraz s dobrým kontrastem šedé a bílé hmoty. Tloušťka řezu této sekvence je 5 mm.

Tabulka 3: Dodatečné protokoly, potřebné pro tvorbu syntetického obrazu.

Syntetický protokol užívaný ve vybrané nemocnici krajského typu						
Název	TR	TE	Vrstva	FOV (mm)	Matrix	Čas
FSE 2D	5012	20, 60, 100, 140	4	230	284x448	3:16
MP 2 RAGE	740	3,3	5	230	320x448	3:37

Následně byly ze získaných T1 a T2 map pomocí SW OleaNova vypočítány obrazy s následujícími parametry: TR 9000/ TE 50/ TI 3000, TR 7000/ TE 90/ TI 2500, TR 9000/ TE 90/ TI 2500, TR 9000/ TE 90/ TI 2000, TR 9000/ TE 50/ TI 2500, TR 9000/ TE 120/ TI 2500, TR 9000/ TE 50/ TI 2000, TR 15000/ TE 90/ TI 2500 a Proton denzitně vážené obrazy.

5 VÝZKUMNÁ ČÁST

5.1 Metodika výzkumu

Praktická část se zabývá pacienty, u kterých byla diagnostikována roztroušená skleróza a kterým bylo provedeno standardní a syntetické vyšetření magnetickou rezonancí v roce 2020 – 2021 s následným zhodnocením získaných dat.

Pro výzkum byla použita data náhodně zvolených pacientů z oddělení radiodiagnostiky nemocnice krajského typu a sběr dat byl zajištěn zaměstnanci.

5.2 Výzkumné otázky

Jaká forma nemoci se vyskytovala u pacientů?

Jaký byl věk pacientů podstupující vyšetření?

Jaký byl počet ložisek nalezených na MR obraze?

Jaká je vzájemná korelace v počtu ložisek mezi jednotlivými sekvencemi?

Lze nahradit standardní T2 a FLAIR sekvence sekvencemi SyMR?

Lze zlepšit výtěžnost vyšetření, je detekováno více ložisek na syntetických sekvencích?

5.3 Výzkumný soubor

Do tohoto souboru byly zařazeni pacienti, kterým byl proveden standardní protokol aplikovaný u osob s nemocí RS a protokol obsahující syntetické sekvence. Data čtrnácti pacientů byli zkoumány retrospektivně.

Výzkum se prováděl v nemocnici krajského typu na Oddělení radiologie za použití přístroje Canon Vantage Galan 3T. Do použitého standardního protokolu patří T2 w.i. TRA, FLAIR TRA. a SAG, T1 w.i. SAG a DWI TRA. Pro protokol syntetický byly použity sekvence FSE 2D a MP 2 RAGE.

Získaná data byla zapisována do aplikace Microsoft Office Excel a zpracována v programu STATISTICA 12.

5.3.1 MR obraz vybraného pacienta

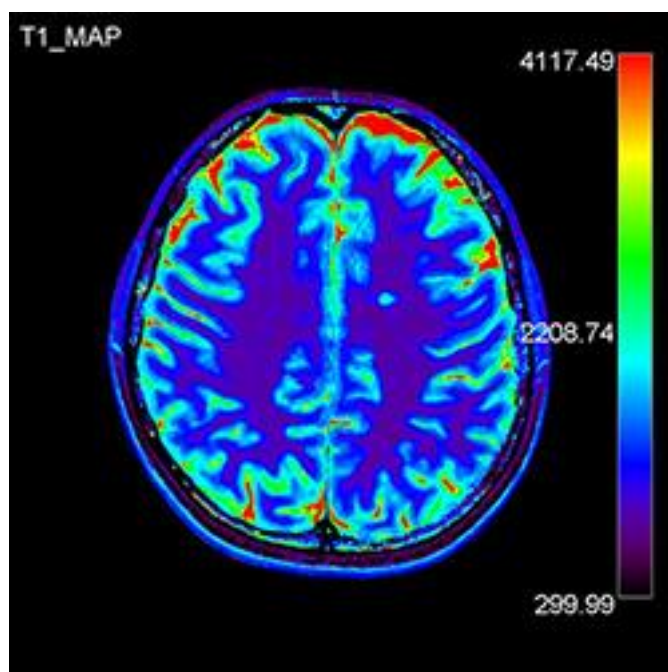
Na standardním FLAIR obraze jsou zřetelně viditelná dvě ložiska v levé mozkové hemisféře. Podle této sekvence se později porovnávalo, zda syntetický obraz má stejnou výtěžnost. I když byl obraz PD a zobrazování s časy TR 9000, TE 50 a TI 3000 nejbližší v počtu ložisek ke

standardnímu obrazu FLAIR, je patrné z obrázků níže (obrázek 2 – 13), že ložiska nejsou tak dobře detekovatelná jako na standardní sekvenci (tabulka 4).

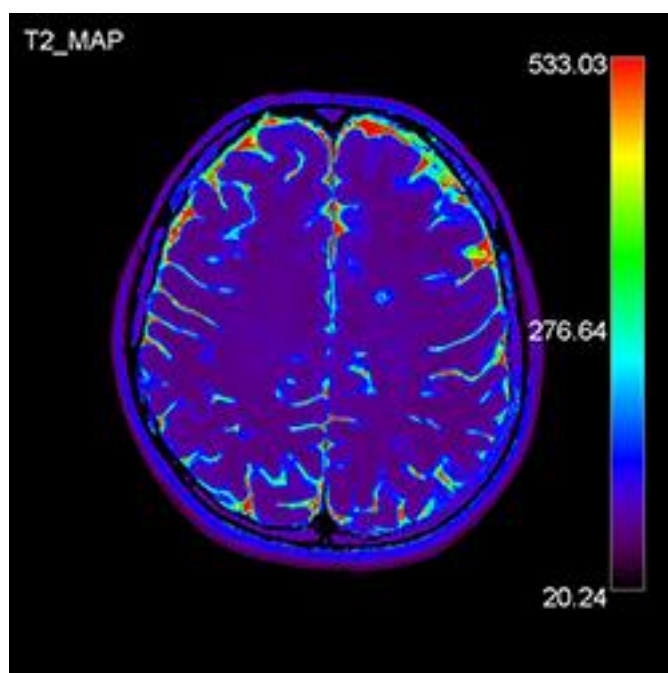
Kvantitativní mapy použité k vygenerování vážených obrazů vznikly měřeními FSE 2D a MP 2 RAGE sekvencí. Díky těmto kvantitativním mapám bylo možné rekonstruovat výsledné kontrastně vážené obrazy.

Tabulka 4: Počet ložisek v dané sekvenci.

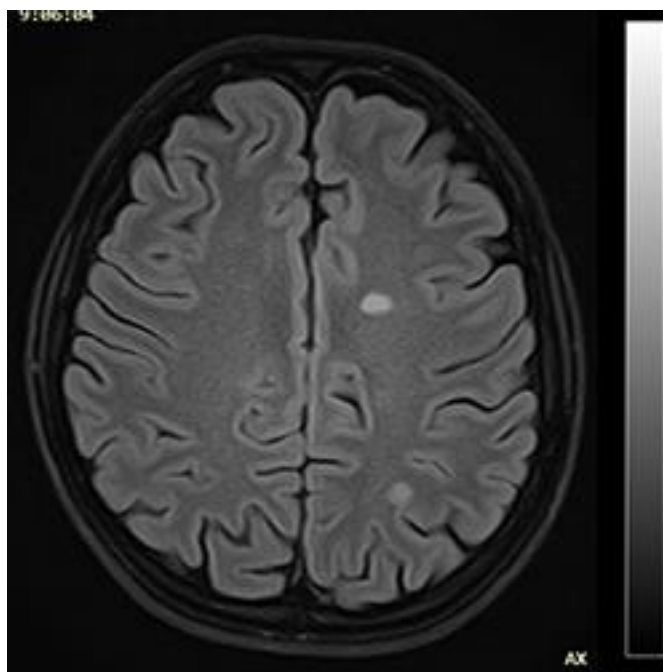
Sekvence	Průměr	Minimum	Maximum
Standardní FLAIR	23	2	51
Proton denzitní	21	2	45
TR 9000/ TE 50/ TI 3000	20	2	44
TR 7000/ TE 90/ TI 2500	10	0	24
TR 9000/ TE 90/ TI 2500	17	2	38
TR 9000/ TE 90/ TI 2000	12	1	28
TR 9000/ TE 50/ TI 2500	13	2	27
TR 9000/ TE 120/ TI 2500	18	2	42
TR 9000/ TE 50/ TI 2000	15	1	36
TR 15000/ TE 90/ TI 2500	9	0	21



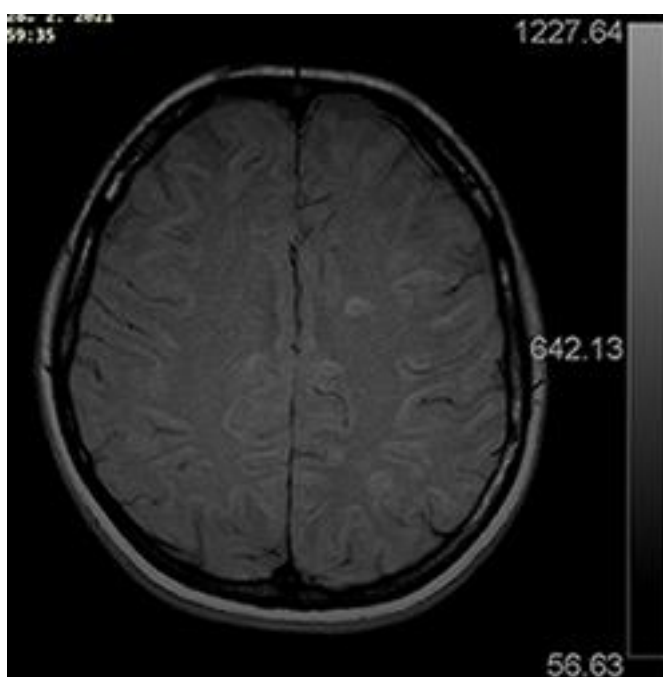
Obrázek 2: Mapa T1.



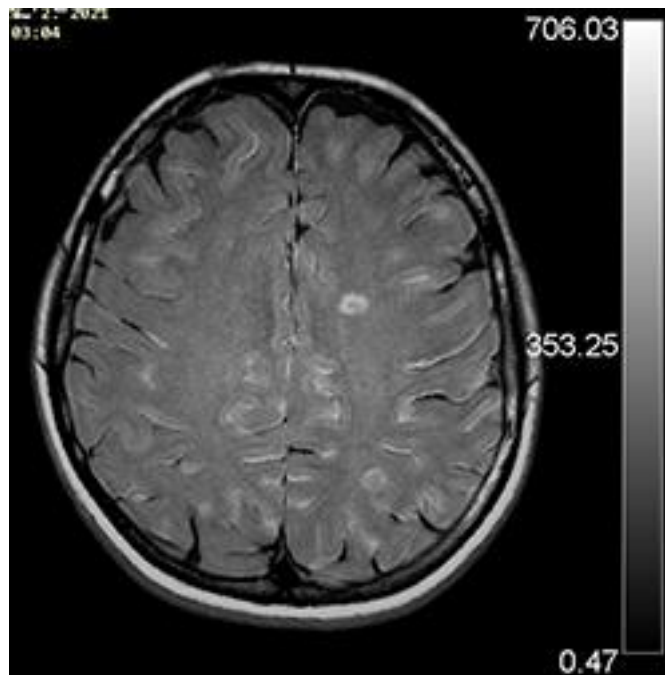
Obrázek 3: Mapa T2.



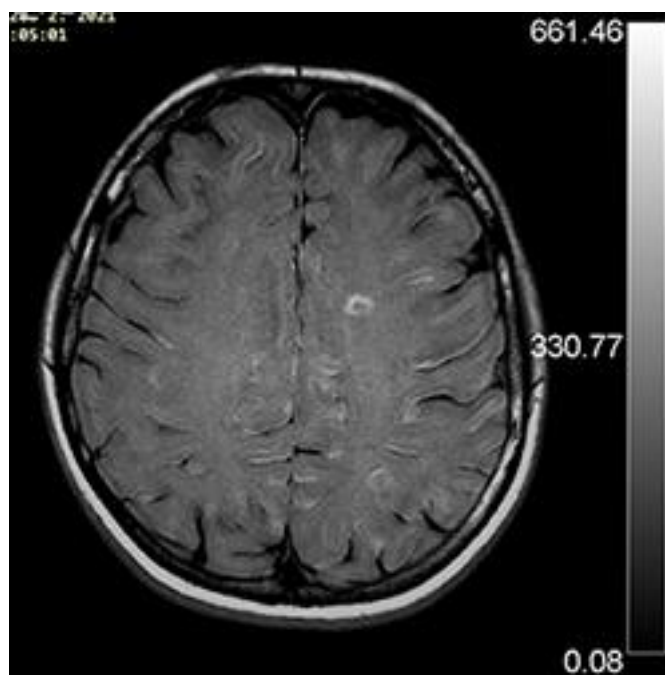
Obrázek 4: Standardní FLAIR.



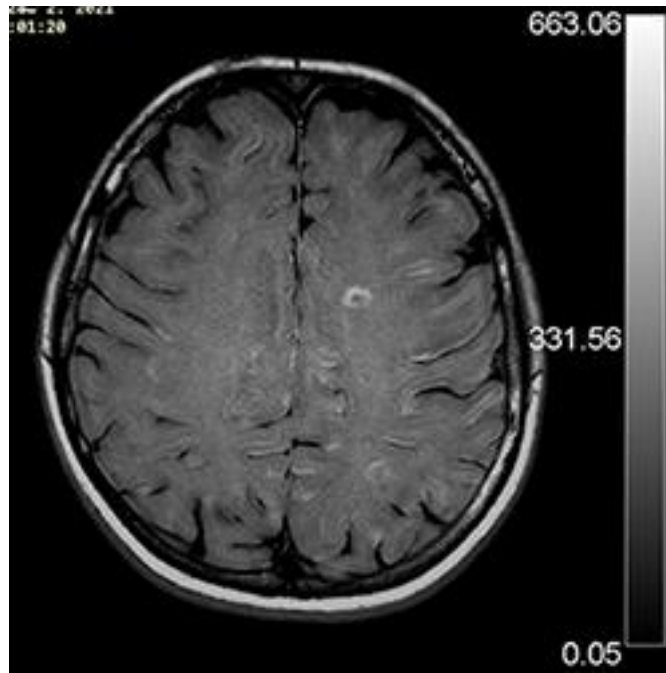
Obrázek 5: Proton denzitní obraz.



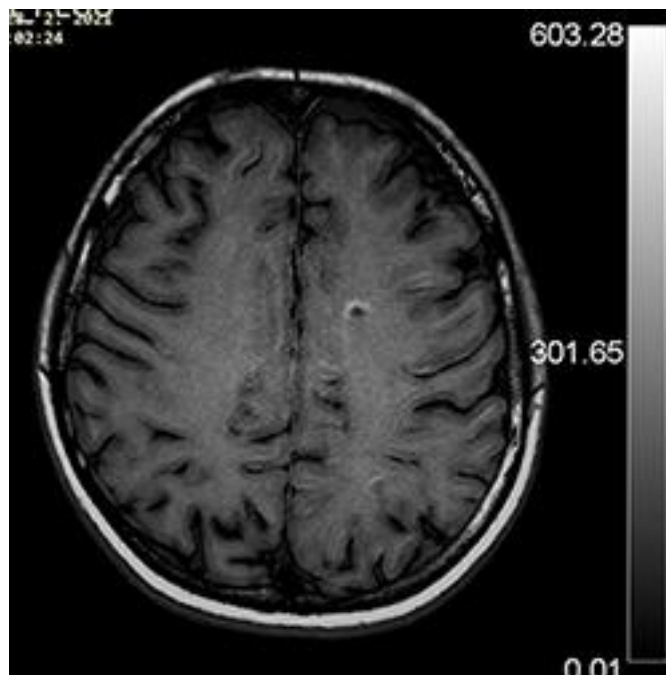
Obrázek 6: TR 9000, TE 50, TI 3000.



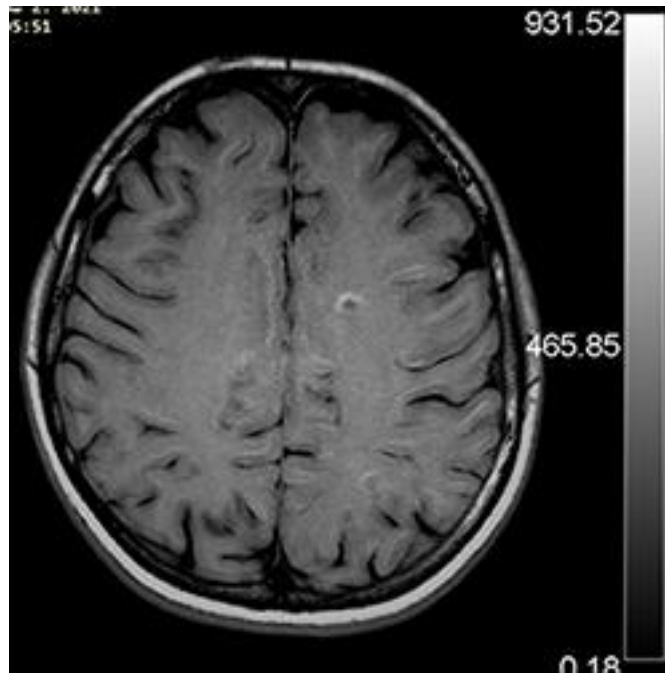
Obrázek 7: TR 7000, TE 90, TI 2500.



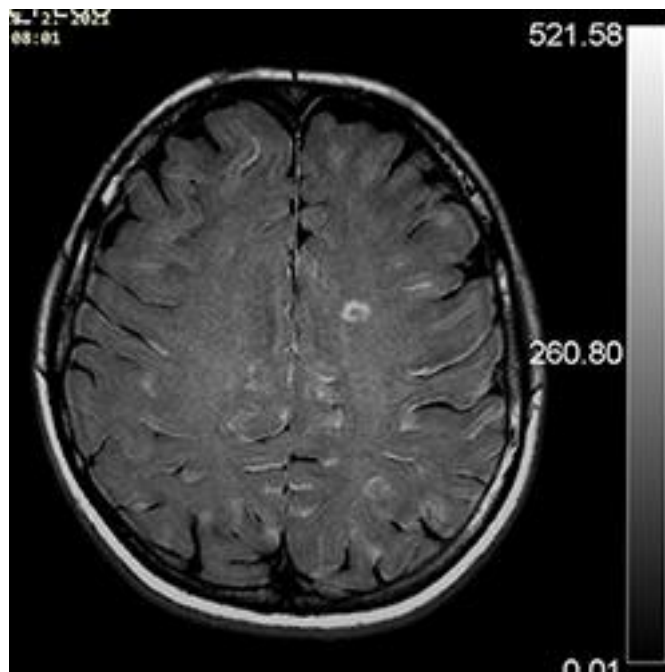
Obrázek 8: TR 9000, TE 90, TI 2500.



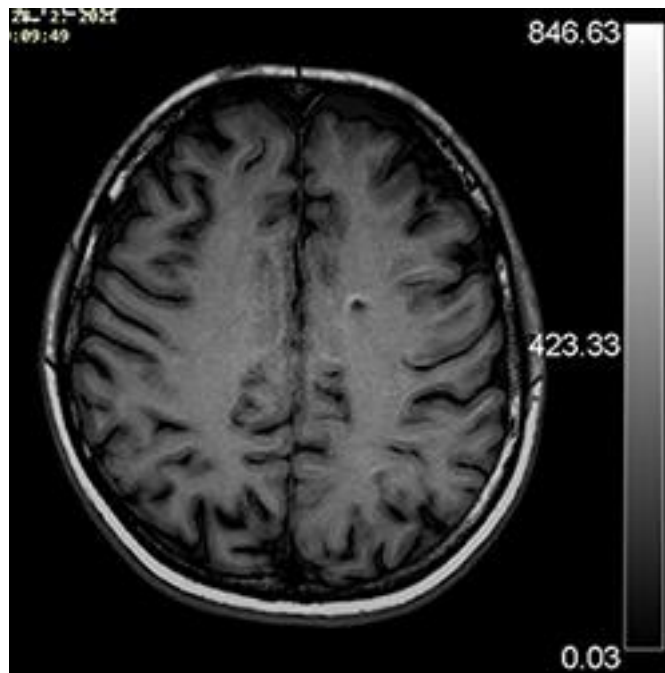
Obrázek 9: TR 9000, TE 90, TI 2000.



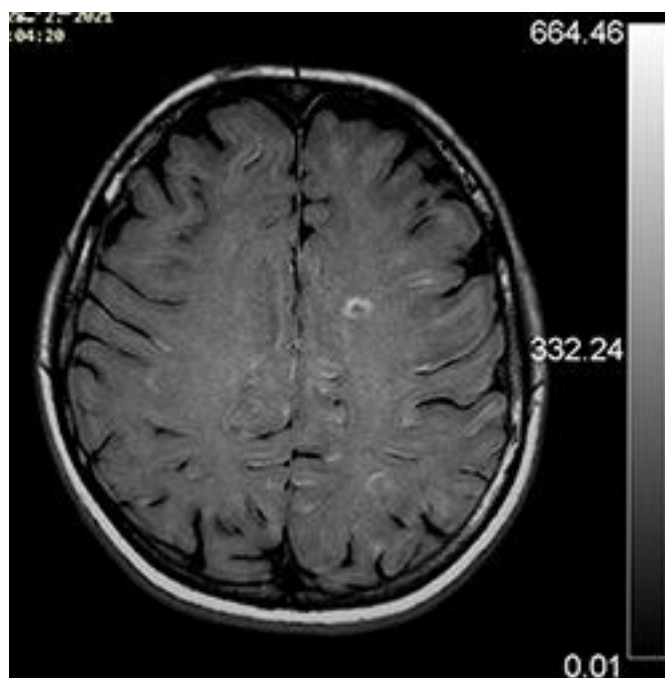
Obrázek 10: TR 9000, TE 50, TI 2500.



Obrázek 11: TR 9000, TE 120, TI 2500.



Obrázek 12: TR 9000, TE 50, TI 2000.

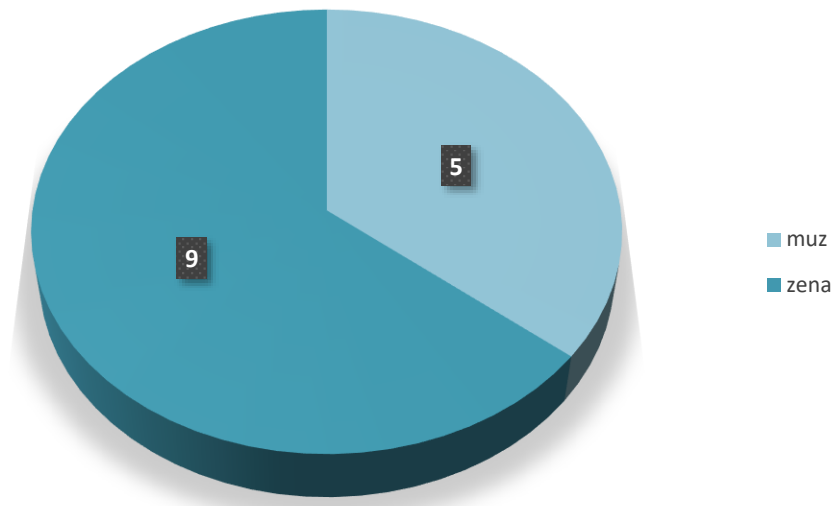


Obrázek 13: TR 15000, TE 90, TI 2500.

5.4 Výsledky výzkumu

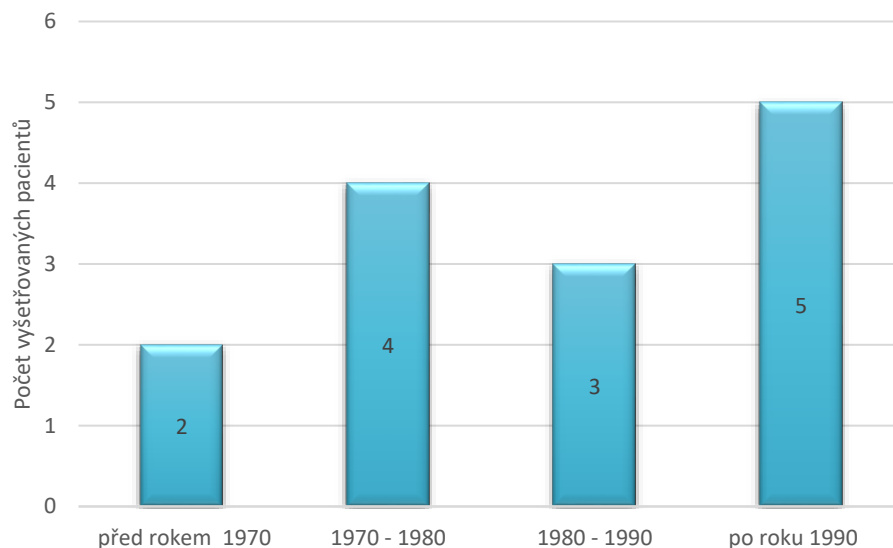
5.4.1 Charakteristika souboru pacientů

Výzkum, který byl proveden na oddělení radiodiagnostiky nemocnice krajského typu je tvořen celkem čtrnácti náhodně vybranými pacienty, u kterých bylo diagnostikované onemocnění roztroušené sklerózy. V době výzkumu celkový počet vyšetřovaných osob tvořily převážně ženy, a to v zastoupení 64,29 %, zbytek byli muži s relativní četností 35,71 % (obrázek 14).



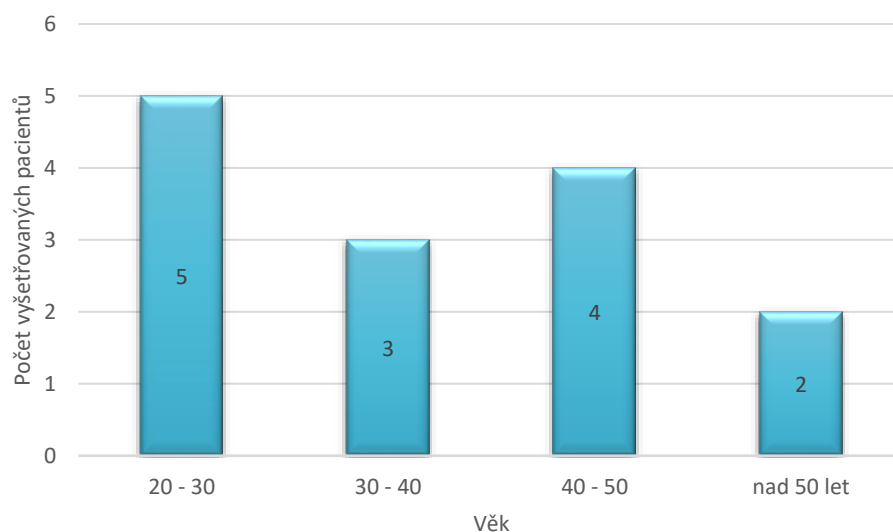
Obrázek 14: Grafické znázornění zastoupení pohlaví pacientů.

Dále je ve výzkumu uveden rok narození pacientu a věk v době podstoupení vyšetření. Dané ročníky narození jsou rozděleny do čtyř skupin s rozestupy deseti let. Nejvíce zastoupená je kategorie pacientů narozených po roce 1990, ve které se nachází 35,7 % osob. Nejméně zastoupená je skupina narozených před rokem 1970, která tvoří pouze dvě osoby. Nejmladší pacient výzkumného souboru se narodil v roce 1996, naopak nejstarší osoba se narodila v roce 1960 (obrázek 15).



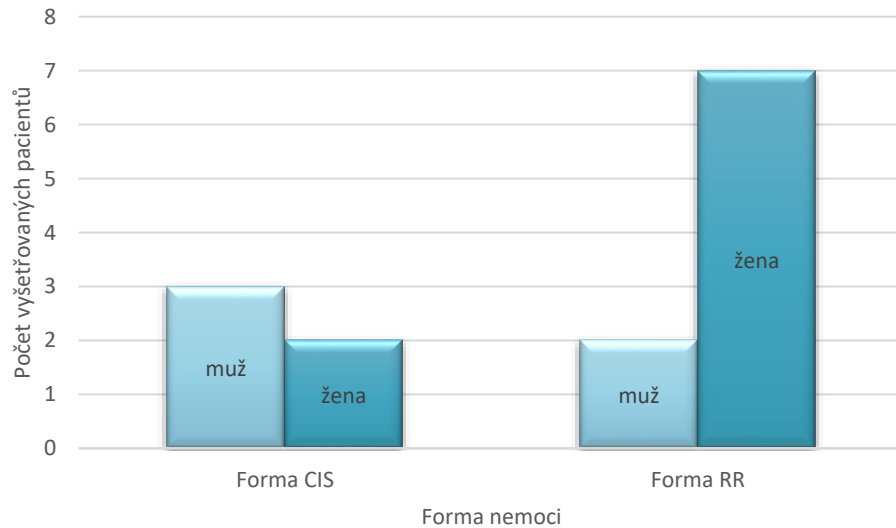
Obrázek 15: Rok narození.

Průměrný věk vyšetřovaných osob byl 39 let. Nejčetnější skupina nemocných je ve věku mezi 20 – 30 lety, kterou tvoří 35,7 %. Nejmladší pacient, který podstoupil zobrazení magnetickou rezonancí, byl ve věku 25 let. Nejstarší osobou byla 61letá žena patřící do skupiny nad 50 let (obrázek 16).



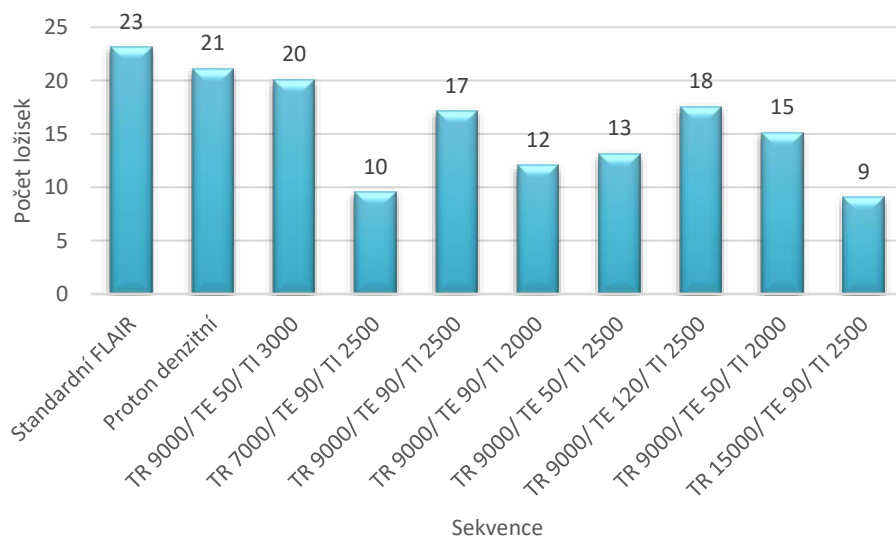
Obrázek 16: Věk pacientů.

Pacienti podstupující vyšetření lze rozdělit do dvou skupin podle formy nemoci, která se u nich projeví (obrázek 17). Větší část osob trpí relaps-remitentní formou RS, 77,8 % v této skupině tvoří ženy, zbylých 22,2 % tvoří muži. Formou klinicky izolovaného syndromu trpí 35,7 % z celkového počtu. Zde tvoří většinou část muži.



Obrázek 17: Diagnostikovaná forma RS.

Při porovnání standardní FLAIR sekvence a syntetických sekvencí nebyl nalezen stejný počet ložisek. V průměru se ukázalo na skenech standardní sekvence 23 ložisek, čemuž se žádná ze sekvencí syntetických nerovnála. Nejblíže, s počtem 21 ložisek, bylo proton denzitní zobrazování (obrázek 18).



Obrázek 18: Průměrný počet ložisek

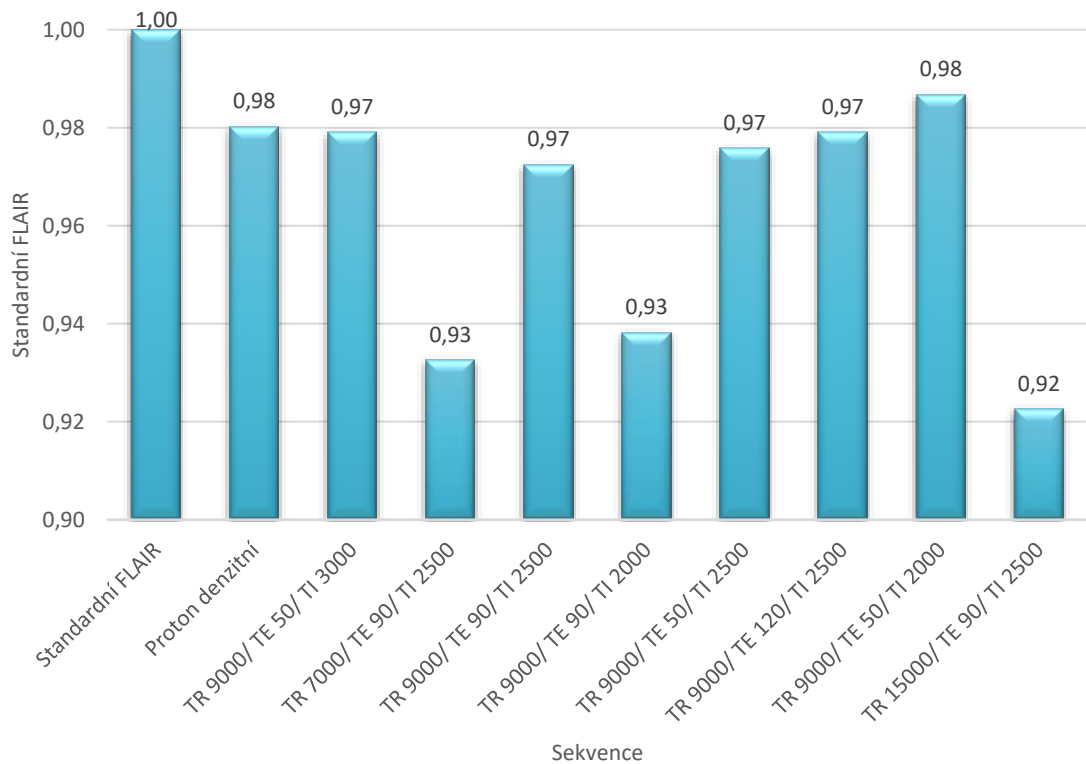
Pokud se budeme počtem ložisek zabývat dále, v tabulce 4 je zobrazen maximální a minimální počet nalezených ložisek v daných sekvencích. Je zřejmé, že nejvíce ložisek bylo opět nalezeno na standardní FLAIR sekvenci. Naopak syntetická sekvence s časy TR 1500, TE 90 a TI 2500 našla pouze 21 z původních 51 plak.

Roztroušená skleróza má několik forem. U pacientů zahrnutých ve výzkumu se objevily dvě rozdílné diagnózy (tabulka 5). Jednou z nich je forma relaps-remitentní RS a druhou je klinicky izolovaný syndrom RS. Byl porovnán průměrný výskyt počtu ložisek s formou onemocnění na MR skenu. Je patrné že u formy relaps-remitentní je téměř dvakrát tolik ložisek než při klinicky izolovaném syndromu. Jak u CIS, tak RR RS bylo objeveno nejméně ložisek na sekvenci s časy TR 7000, TE 90 a TI 2500 stejně jako u sekvence s časy TR 15000, TE 90 a TI 2500. U klinicky izolovaného syndromu bylo na obou sekvencích zjištěno průměrně 12 ložisek. U relaps-remitentní formy bylo plak zjištěno v průměru 5. Největší výskyt je na standardní sekvenci spolu s PD.

Tabulka 5: Průměrný počet ložisek v závislosti na formě onemocnění.

Sekvence	Klinicky izolovaný syndrom	Relaps-remitentní forma
Standardní FLAIR	15	28
Proton denzitní	14	25
TR 9000/ TE 50/ TI 3000	13	24
TR 7000/ TE 90/ TI 2500	5	12
TR 9000/ TE 90/ TI 2500	10	21
TR 9000/ TE 90/ TI 2000	7	15
TR 9000/ TE 50/ TI 2500	9	16
TR 9000/ TE 120/ TI 2500	11	21
TR 9000/ TE 50/ TI 2000	10	18
TR 15000/ TE 90/ TI 2500	5	12

Byla zkoumána vzájemná korelace mezi jednotlivými sekvencemi (obrázek 21). Se standardní FLAIR sekvencí nejvíce koreluje sekvence syntetická s časy TR 9000, TE 50 a TI 2000 a sekvence PD. Naopak nejvíce se od ní odlišují SyMR sekvence s časy TR 15000, TE 90, TI 2500 a TR 7000, TE 90, TI 2500.



Obrázek 19: Korelace mezi sekvencemi

6 DISKUZE

Roztroušená skleróza je autoimunitní onemocnění, při kterém vznikají neurologická postižení. Invalidita pacientů je způsobena napadením myelinu a nervových vláken umožňující vedení vzruchů v centrálním i periferním nervovém systému. Vzniklá zánětlivá ložiska postihují nejčastěji mozkovou tkáň. Podle zasažené oblasti, pacienti vykazují určité symptomy. Každý příznak značně ovlivňuje kvalitu života a většina osob trpí depresí. Nemoc lze dělit na několik forem, s rozdílným průběhem a závažností. Určité typy nemoci vidáme častěji, některé jen zřídka. Například relaps-remitentní RS se vyskytuje až u 85 % postižených, naopak s formou relaps-progredující se potýká pouze 3 % pacientů. Data shromážděná během výzkumu ukazují, že u osob trpících formou RR RS, bylo detekováno až dvojnásobné množství ložisek.

Pro diagnostiku onemocnění se využívají McDonaldova kritéria, která se pravidelně aktualizují. Hlavním cílem je brzká diagnostika s následnou léčbou. Je nutné, aby nemoc byla odhalena co nejdříve. Včasná léčba předchází neurodegenerativním změnám a zpomaluje přechod nemoci z primární na sekundární formu. Klíčová vyšetření pro zjištění nemoci je vyšetření mozkomíšního moku a provedení magnetické rezonance.

Konvenční magnetická rezonance je stále primární zobrazovací technologií při vyšetřování pacientů s RS. Funguje na základně aplikace radiofrekvenčních impulzů, které jsou vysílány do tkání, z pacienta se vrací signál detekovaný na cívkách. Na každý orgán je použit jiný protokol, pro pacienty trpící roztroušenou sklerózou se využívá specifický protokol, který zajistí maximální detekci přítomných ložisek. V dnešní době se ale technologie stále zdokonalují a diagnostika roztroušené sklerózy se urychluje, proto vznikají studie, kde se syntetická magnetická rezonance využívá místo konvenční MR.

Zobrazování syntetickou magnetickou rezonancí (SyMR) má dobrý potenciál při hodnocení diseminace ložisek roztroušené sklerózy. SyMR syntetizuje kontrastně vážené obrazy, které jsou získávány kvantitativním měřením. Důležitým prvkem je tvorba kvantitativních map, které slouží k následné syntéze obrazu. Díky prováděným studiím dochází ke zlepšení zobrazení a následné dřívější diagnostice. Některé studie potvrdily, že provedením syntetického protokolu místo protokolu konvenčního se zrychlil čas vyšetření. Výzkum prováděný v nemocnici krajského typu ukázal, že standardní protokol aplikovaný u pacientů s RS trvá 16 minut a 38 sekund, protokol obsahující syntetické sekvence trval 16 minut a 11 sekund. V případě prováděného výzkumu se tedy čas vyšetření zkrátil pouze o 27 sekund.

Vybraná studie Krauss et al [17] porovnávala 2D syntetické obrazy s odpovídajícími 2D konvenčními MR obrazy při použití tloušťky řezů 3mm, která byla aplikována pro obě zobrazování. Bylo uvedeno, že rozlišení obrazu v axiální rovině u syntetického obraz bylo nižší ve srovnání s obrazem konvenčním. Byl také zjištěn rozdíl mezi zobrazováním lézí na 1,5 a 3 T magnetické rezonanci, kde se ukázalo, že detekce ložisek při použití 3 T je lepší. Výsledek studie neprokázal žádné významné rozdíly v detekci plak RS za použití konvenční a syntetické MR. Naopak v jiné studii [16] bylo detekováno za použití syntetické MR o tloušťce získaných obrazů 4 mm, s kontrastně váženými obrazy DIR a PSIR, více ložisek RS než na konvenčním MR zobrazování. Především zobrazení DIR ukázalo větší detekci lézí než na FLAIR a T2 vážených obrazech, pokud se nejednalo o léze nacházející se mezi bílou a šedou hmotou mozkovou. Kontrast mezi lézí a bílou hmotou byl vyšší u konvenčních snímků T1 w.i., zatímco u snímku T2 a FLAIR nebyl zaznamenán žádný rozdíl při hodnocení konvenčních a syntetických obrazů. U T1 w.i. se vyskytly pulzační artefakty, které vedly k rozdílnému počtu detekovaných ložisek. Další studie [18], ve které byla použita tloušťka řezu 4 mm, místo doporučené tloušťky 3 mm pro studie RS s 2D sekvencemi ukazuje, že syntetické zobrazování může být alternativou ke konvenčnímu zobrazení MR, u pacientů s roztroušenou sklerózou. Syntetické MR lze využít pro generování obrazů PD, T1 a T2 kromě FLAIR sekvence, u které se vyskytovaly pulzační artefakty. Při porovnání vybraných studií je zřetelná jejich odlišnost v použité tloušťce řezů a v použitých vyšetřovacích sekvencích. Jelikož není tato metoda zobrazování v kontextu s roztroušenou sklerózou tak rozvinutá, počet nalezených studií například na webových stránkách Pubmed, není vysoký a pro tento výzkum bylo možno použít pouze malé množství článků, které se mezi sebou porovnaly.

Cílem práce bylo zjistit výtěžnost syntetické magnetické rezonance v detekci ložisek roztroušené sklerózy za pomoci souboru čtrnácti pacientů s diagnostikovanou formou nemoci relaps-remitentní a CIS. Každému z pacientů bylo provedeno konvenční zobrazení magnetickou rezonancí a následně vyšetření syntetickým MR. Na základě provedených syntetických sekvencí vznikla mapa T1 a T2, díky kterým byly syntetizované výsledné obrazy. Použité syntetické sekvence ve výzkumu pro tuto práci byly FSE 2D a MP 2 RAGE. Po zhodnocení obrazů bylo zjištěno, že syntetické zobrazení nemá takovou výpovědní hodnotou jako standardní FLAIR sekvence. Obrazy DIR a PSIR, použité v jiných studiích nebyly do výzkumu zahrnuty a na žádném ze syntetických obrazů nebylo nalezeno stejné množství lézí jako na konvenčním obraze.

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá syntetickou magnetickou rezonancí (SyMR) a jejím využitím v detekci ložisek roztroušené sklerózy. Při tomto zobrazení je využita syntéza kontrastně vážených obrazů z kvantitativních map vytvořených magnetickou rezonancí.

Na začátku části teoretické jsou uvedeny základní informace o anatomii centrálního nervového systému, zejména anatomie mozku, které jsou důležité pro následný popis onemocnění roztroušené sklerózy. Je zde uvedena patogeneze, etiologie a symptomatika nemoci s následnou diagnostikou. Další část je zaměřena na magnetickou rezonanci, její základní fyzikální princip a standardní protokol užívaný u pacientů s roztroušenou sklerózou. V posledním úseku teorie je popsána syntetická magnetická rezonance, vznik syntetického obraz a protokol použitý pro výzkum.

Praktická část je zaměřena na zhodnocení shromážděných dat náhodně vybraných pacientů, kteří podstoupili vyšetření syntetickou a konvenční magnetickou rezonancí. Dále jsou zde popsány a mezi sebou porovnány vybrané studie. Cílem praktické části bylo zjistit, zda lze v detekci plak roztroušené sklerózy využít magnetickou rezonanci s použitím syntetických sekvencí.

Z analýzy dat bylo zjištěno, že pacienti podstupující výzkum trpěli formou relaps-remitentní RS a formou klinicky izolovaného syndromu. Věk vyšetřovaných osob se pohyboval mezi pětadvacátým a jednašedesátým rokem života. Počet ložisek zobrazených na syntetických obrazech neodpovídá počtu detekovaných lézí na standardně prováděné FLAIR sekvenci. Protokol použitý pro výzkum je schopen detekce ložisek RS, jeho výtěžnost ale není tak vysoká jako u standardního protokolu, který se provádí v nemocnici krajského typu u pacientů s roztroušenou sklerózou. Závěr bakalářské práce tudíž je, že v takovém provedení není syntetická magnetická rezonance použitelná. Metoda syntetického zobrazování má potenciál při detekci plak. Tato technika je nová a aby bylo možné její plnohodnotné použití k zobrazení ložisek, je potřeba provedení dalších studií.

8 POUŽITÁ LITERATURA

1. ROKYTA, Richard. *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.
2. NOVOTNÝ, Ivan a Michal HRUŠKA. *Biologie člověka*. 5., rozšířené a upravené vydání. Praha: Fortuna, 2015. ISBN 978-80-7373-128-1.
3. VANĚČKOVÁ, Manuela a Zdeněk SEIDL. *Magnetická rezonance a roztroušená skleróza mozkomíšní*. Praha: Mladá fronta, 2010. Aeskulap. ISBN 978-80-204-2182-1.
4. OREL, Miroslav a Roman PROCHÁZKA. *Vyšetření a výzkum mozku: pro psychology, pedagogy a další nelékařské obory*. Praha: Grada, 2017. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-5539-7.
5. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
6. SEIDL, Zdeněk. *Neurologie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2733-2.
7. KUBALA HAVRDOVÁ, Eva. *Roztroušená skleróza v praxi*. Praha: Galén, [2015]. ISBN 978-80-7492-189-6.
8. MEDICAL TRIBUNE CZ > Aktuální diagnostická kritéria roztroušené sklerózy, nedatováno. [online]. [Viděno 14 březen 2021]. Získáno z: <https://www.tribune.cz/clanek/44380-aktualni-diagnosticka-kriteriia-roztrousene-sklerozy>
9. NEKULA, Josef a Jana CHMELOVÁ. *Základy zobrazování magnetickou rezonancí*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Zdravotně sociální fakulta, 2007. ISBN 978-80-7368-335-1.
10. VÁLEK, Vlastimil a Jan ŽIŽKA. *Moderní diagnostické metody*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1996. ISBN 80-7013-225-6.
11. SEIDL, Zdeněk a Manuela VANĚČKOVÁ. *Magnetická rezonance hlavy, mozku a páteře*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1106-5.
12. MECHL, Marek, Jaroslav TINTĚRA a Jan ŽIŽKA. *Protokoly MR Zobrazování*. Praha: Galén, 2014. ISBN 978-80-7492-109-4.
13. REIF, Michal a Robert MIKULÍK. Zobrazovací vyšetření u mozkového infarktu. *Neurologie pro praxi*. 2006, 7(6), 317–320.
14. VOMÁČKA, Jaroslav. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Druhé, doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4508-3.
15. JI, Sooyeon, YANG, Dongjin, LEE, Jongho, CHOI, Seung Hong, KIM, Hyeonjin a KANG, Koung Mi, 2020. Synthetic MRI : Technologies and Applications in Neuroradiology. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 13 listopad 2020. P. jmri.27440. DOI 10.1002/jmri.27440.

16. HAGIWARA, A., HORI, M., 2017. Synthetic MRI in the Detection of Multiple Sclerosis Plaques. *American Journal of Neuroradiology*. únor 2017. Vol. 38, no. 2, p. 257–263. DOI 10.3174/ajnr.A5012.
17. KRAUSS, Wolfgang, GUNNARSSON, Martin, NILSSON, Margareta a THUNBERG, Per, 2018. Conventional and synthetic MRI in multiple sclerosis: a comparative study. *European Radiology*. duben 2018. Vol. 28, no. 4, p. 1692–1700. DOI 10.1007/s00330-017-5100-9.
18. GRANBERG, T., UPPMAN, M., 2016. Clinical Feasibility of Synthetic MRI in Multiple Sclerosis: A Diagnostic and Volumetric Validation Study. *American Journal of Neuroradiology*. červen 2016. Vol. 37, no. 6, p. 1023–1029. DOI 10.3174/ajnr.A4665.