

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Denisa Ledrová

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií

Vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou  
srdeční

Bakalářská práce

2023

Denisa Ledrová

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií  
Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Denisa Ledrová**  
Osobní číslo: **Z20108**  
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**  
Studijní obor: **Radiologický asistent**  
Téma práce: **Vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou srdeční**  
Téma práce anglicky: **Magnetic resonance heart examination of patients with ischemic heart disease**  
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:

- BULAVA, Alan, 2017. *Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada, 224 s., ISBN 978-80-271-97.
- MALÍKOVÁ, Hana a kol., 2019. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, 158 s., ISBN 978-80-246-4036-5.
- PLEVA, Martin a Petr OUŘEDNÍČEK, 2012. *MRI srdce – praktické využití z pohledu kardiologa*. Praha: Grada, 136 s., ISBN 978-80-247-3931-1.
- VESELKA, Josef, 2009. *Ischemická choroba srdeční – základní informace pro pacienty*. Brno: Facta Medica, 43 s., ISBN 978-80-904260-4-7.

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

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. dubna 2023**

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

L.S.

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

## PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou srdeční 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 27. 04. 2023

Denisa Ledrová v. r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce MUDr. Bořivojovi Korbelovi, za jeho vždy vstřícný přístup, cenné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Také bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, kteří mi byli oporou, a to nejen při psaní bakalářské práce, ale i během celého studia.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce je rozdělená na dvě části. První z nich je teoretická část, ta se zabývá problematikou srdce, ischemickou chorobou srdeční, magnetickou rezonancí a zátěžovým vyšetřením srdce. Druhou částí je praktická část, kde je popsán průběh vyšetření, popsána metodika výzkumu a následný výzkum. Cílem práce je porovnání rozdílů dvou farmakologických zátěžových látek, jedná se o adenosin a regadenoson.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Magnetická rezonance, zátěžové vyšetření, ischemická choroba srdeční, srdce, adenosin, regadenoson

## **TITLE**

Magnetic resonance heart examination of patients with ischemic heart disease.

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis is divided in two parts. The first of them is the theoretical part, which deals with the heart issues, ischemic heart disease, magnetic resonance imaging and cardiac stress testing. The second part is the practical part, where the course of the examination is described, the research methodology and subsequent research are described. The aim of the thesis is to compare the differences of two pharmacological stress agents, namely adenosine and regadenoson.

## **KEYWORDS**

Magnetic resonance, stress examination, ischemic heart disease, heart, adenosine, regadenoson

# OBSAH

Úvod.....	12
1 Cíle a metody práce .....	14
1.1 Cíle práce .....	14
1.2 Metody k dosažení cíle.....	14
2 Teoretická část .....	15
2.1 Srdce.....	15
2.1.1 Anatomie a fyziologie srdce .....	15
2.1.2 Tepny a žíly .....	17
2.1.3 Převodní systém srdeční .....	18
2.2 Ischemická choroba srdeční .....	19
2.2.1 Angina pectoris .....	20
2.2.2 Akutní infarkt myokardu .....	21
2.3 Magnetická rezonance.....	21
2.3.1 Historie MR .....	21
2.3.2 Základní princip MR.....	22
2.3.3 Zobrazovací sekvence.....	24
2.3.4 Přístroje MR.....	25
2.3.5 Artefakty MR obrazu .....	26
2.3.6 Indikace MR .....	26
2.3.7 Kontraindikace MR.....	26
2.3.8 Příprava na MR vyšetření .....	27
2.3.9 Kontrastní látky.....	27
2.4 Zátěžové vyšetření .....	28
2.4.1 Izometrická zátěž .....	29
2.4.2 Dynamická zátěž.....	29
2.4.3 Farmakologická zátěž .....	29



2.4.4	Zátěžové vyšetření na MR .....	30
3	Výzkumná (praktická) část .....	32
3.1	Pro koho je vyšetření vhodné .....	32
3.2	Postup vyšetření .....	32
3.3	Nežádoucí účinky .....	36
3.3.1	Regadenoson .....	36
3.3.2	Adenosin .....	36
3.4	Elektrokardiogram .....	36
3.4.1	EKG-gating .....	38
3.5	Krevní tlak a jeho měření .....	39
3.6	Tepová frekvence .....	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 .....	42
4.5	Výsledek .....	42
4.5.1	Četnost respondentů .....	42
4.5.2	Věk respondentů .....	42
4.5.3	Tepová frekvence .....	43
4.5.4	Krevní tlak .....	45
4.5.5	Symptomy .....	48
4.6	Hodnocení výsledků .....	49
5	Diskuze .....	50
6	Závěr .....	53
7	Použité zdroje .....	54
8	Přílohy .....	56

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - Anatomická stavba srdce (Bulava, 2017) .....	16
Obrázek 2 – Srdce s věnčitými tepnami (Fiala et al., 2015).....	18
Obrázek 3 - Převodní systém srdeční (Fiala et al., 2015).....	19
Obrázek 4 - Longitudinální magnetizace (Seidl et al., 2012).....	23
Obrázek 5 - Transverzální magnetizace (Seidl et al., 2012).....	23
Obrázek 6 - Zjednodušené schéma SE sekvencí (Seidl et al., 2012).....	24
Obrázek 7 - Zjednodušené schéma GE sekvencí (Seidl et al., 2012).....	25
Obrázek 8 - Automatický injektor – pumpa (Medtron.com, 2021).....	33
Obrázek 9 - Pozice elektrod (Pleva, Ouředníček, 2012).....	34
Obrázek 10 - Bezdrátový modul pro přenos respiračních pohybů a periferní pulzace vlevo, vpravo EKG modul s bezdrátovým přenosem signálu (vlastní tvorba autorky).....	34
Obrázek 11 - Srdeční cívky (Pleva, Ouředníček, 2012) .....	35
Obrázek 12 – Křivky na elektrokardiogramu (Colin et al., 2015).....	37
Obrázek 13 - (A) Normální sinusový rytmus, (B) sinusová tachykardie (Colin et al., 2015).....	37
Obrázek 14 - Retrospektivní a prospektivní gating (Murphy, 2023).....	39
Tabulka 1 - Normy krevního tlaku .....	40
Tabulka 2 - Četnost respondentů .....	42
Tabulka 3 - Věk respondentů.....	43
Tabulka 4 - Tepová frekvence u adenosinu .....	44
Tabulka 5 - Tepová frekvence u regadenosonu .....	44
Tabulka 6 - Krevní tlak u adenosinu.....	46
Tabulka 7 - Krevní tlak u regadenosonu.....	47
Tabulka 8 - Symptomy u adenosinu .....	48
Tabulka 9 - Symptomy u regadenosonu .....	48

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AV	atrioventrikulární
cca	cirka, přibližně
CT	výpočetní tomografie
ECHO	echokardiografie
EKG	elektrokardiogram
FID	volný indukční rozpad, free induction decay
GE	gradient-echo
ICHS	ischemická choroba srdeční
Kg	kilogram
KL	kontrastní látka
LGE	pozdní zesílení gadoliniem, late gadolinium enhancement
mg	miligram
min.	minuta
ml	mililitr
mmHg	milimetr rtuťového sloupce
MR	magnetická rezonance
μg	mikrogram
Např.	například
NSF	nefrogenní systémová fibróza
RF	radiofrekvenční
RTG	rentgen
s	sekunda
SA	sinoatriální

SE	spin-echo
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie, single-photon emission computed tomography
T1	podélná relaxační konstanta, longitudinal relaxation rate
T2	příčná relaxační konstanta, transverse relaxation rate
TE	echo čas, time to echo
TF	tepová frekvence
Tj.	to je
TK	tlak krve, krevní tlak
TR	repetiční čas, time to repetition
Tzv.	takzvaně

## ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje zátěžovému vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou srdeční. Magnetická rezonance je jedna z nemodernějších vyšetřovacích metod. Je to neinvazivní vyšetřovací metoda, využívá silné statické magnetické pole a elektromagnetické vlnění a je jednou z nezbytných metod v kardiologii. Pomocí magnetické rezonance se provádí zátěžové vyšetření srdce, kdy jsou zaznamenány změny srdce při zátěži podáním farmakologické látky. Tímto vyšetřením se dají sledovat poruchy rytmu srdce. Dále slouží k posouzení perfuze srdečního svalu. A hlavně se provádí v rámci diagnózy ischemické choroby srdeční. *„Ischemická choroba srdeční je nejčastější příčinou smrti nejen v České republice, ale v celém rozvinutém světě. Přispívají k tomu nejen genetické dispozice, na něž se v poslední době poukazuje čím dál tím více, ale i způsob života moderního člověka. Kouření, nedostatek pohybu, mentální stres, nadměrný příjem stravy bohaté na tuky a z toho vyplývající obezita, cukrovka, zvýšený krevní tlak.“* (Veselka, 2009, s. 3)

Cílem bakalářské práce je posoudit jaká farmakologická zátěž, respektive jaká účinná látka je vhodnější pro pacienty. Dle zdravotní dokumentace budou zhotoveny výsledky, a to, jak se mění krevní tlak a nežádoucí účinky před zahájením vyšetření a v průběhu vyšetření, kdy je aplikována farmakologická zátěžová látka. Následně budou výsledky porovnány s literárními zdroji. Práce je vhodná pro budoucí vyšetření, zda je přijatelné používat i nadále farmakologickou účinnou látku adenosin či regadenoson na základě tepové frekvence, krevního tlaku a nežádoucích účinků. Je možné ji použít i pro kardiologická oddělení. Tyto informace mohou pomoci lékařům v rozhodování o vhodné účinné látce, což může vést ke zlepšení prognózy a kvality života pacientů. Získané poznatky mohou přispět k lepšímu pochopení těchto látek.

Toto téma je zajímavé díky vysoké prevalenci ischemické choroby srdeční a potřeby objektivního srovnání účinných látek používaných při zátěžovém vyšetření. Zajímavé je i využití moderní technologie v kardiologii jako je magnetická rezonance srdce, která nabízí nové možnosti v diagnostice ischemické choroby srdeční u pacientů.

Bakalářská práce je koncipována do dvou částí. Teoretická část bakalářské práce je ze čtyř dílčích kapitol. Zabývá se problematikou srdce, specificky anatomii a fyziologii srdce. Dále ischemickou chorobou srdeční, a to jejími formami. Následně je věnována pozornost moderní diagnostické technice konkrétně magnetické rezonanci, včetně historie, základních principů, zobrazovacích sekvencí, přístroje MR, artefaktů, indikací, kontraindikací, přípravy a použití

kontrastních látek. V teoretické části je též zmíněno zátěžové vyšetření. Praktická část se zaobírá průběhem vyšetření a témat ohledně výzkumu, jako jsou EKG, krevní tlak, tepová frekvence a nežádoucí účinky. Dále je v praktické části popsána metodika výzkumu a následný výzkum.

# **1 CÍLE A METODY PRÁCE**

## **1.1 Cíle práce**

Cílem teoretické části je popsat problematiku srdce a vyšetření na magnetické rezonanci.

Průzkumným cílem práce je výzkum a porovnání vyšetření srdce pomocí dvou léčivých látek, a to adenosinu a regadenosonu.

Dílčím cílem je analyzovat informace o vyšetřovací metodě. Porovnání rozdílů a vedlejších účinků léčivých látek u pacientů.

Cílem je posoudit užitečnost vyšetření, provést výzkum a porovnání testování srdce zátěžovou magnetickou rezonancí s adenosinem a regadenosonem u pacientů s ischemickou chorobou srdeční.

## **1.2 Metody k dosažení cíle**

Použití zdravotní dokumentace k analýze u výběru pacientů s ischemickou chorobou srdeční. Výsledky budou následně analyzovány a porovnány s relativními literárními zdroji. K dosažení cíle bude sloužit sběr dat při farmakologické zátěži. Bude se jednat o tepovou frekvenci, krevní tlak a nežádoucí účinky. To umožní získat potřebné informace k dosažení výsledků.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

Ischemická choroba srdeční (ICHS) patří k nejčastějším onemocněním srdce a je způsobena nedostatečným prokrvením srdce. Diagnostikování ICHS je klíčové pro řádnou léčbu a zlepšení prognózy pacienta. Magnetická rezonance (MR) srdce je jedním z nejvíce používaných diagnostických nástrojů, která umožňuje zobrazit stav srdce a jeho funkci. Zátěžové vyšetření srdce, které se provádí pomocí farmakologické zátěže, je dalším významným diagnostickým postupem pro posouzení funkce srdce a detekci ischemických změn. První část bakalářské práce je zaměřena na problematiku srdce, ischemickou chorobu srdeční, magnetickou rezonanci a zátěžové vyšetření srdce na MR.

### 2.1 Srdce

Srdce (cor, kardia) je orgán, který je životně důležitý, přestože váží jen 250 až 350 gramů, je neuvěřitelně výkonné. Neustále se rytmicky smršťuje (systola) a ochabuje (diastola), zajišťuje tak nepřetržité přečerpávání krve. Po systole síní a komor následuje fáze diastoly, kdy se srdce opět uvolňuje a plní krví. Tyto dvě fáze se v průběhu jednoho cyklu plynule střídají, tvoří stahování a uvolňování srdce a jsou základem celého srdečního cyklu. Srdce má za normálních podmínek srdeční tep 60 až 100krát za minutu, což odpovídá přibližně 100 000 srdečních tepů denně. Za klidových podmínek srdce přečerpá 5 až 7 litrů krve za minutu (tj. minutový srdeční výdej). Za den tak srdce přečerpá 5 000 až 7 000 litrů krve. Při zvyšující se tělesné zátěži se zvyšuje i počet srdečních stahů. (Bulava, 2017)

#### 2.1.1 Anatomie a fyziologie srdce

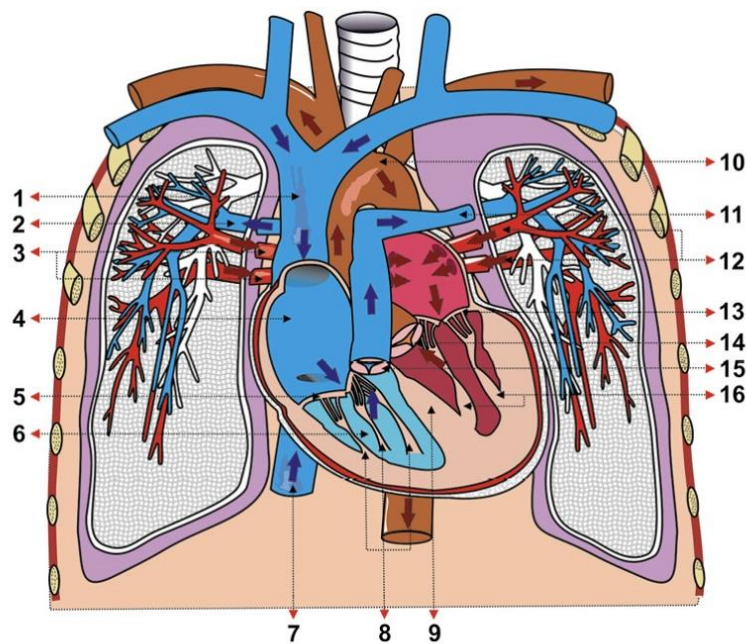
Srdce je dutý orgán tvořený svalovou tkání. Má tvar kužele. Je uloženo za hrudní kosti mezi pravou a levou plící a je chráněné vazivovým pouzdrem zvaným osrdečník (perikard). Na povrchu srdce se nachází zevní vrstva neboli serózní blána (epikard), která odděluje srdce od velkých cév a vytváří vak zvaný perikard. Mezi oběma vazivovými blánami vzniká dutina, nazývána osrdečníková štěrbina, jenž obsahuje perikardiální tekutinu. Je to malé množství kapaliny snižující tření a usnadňuje pohyby srdce. Pod epikardem se nachází koronární tepny, jsou obklopeny ochrannou vrstvou tuku. Za nimi se nachází srdeční svalovina (myokard), tvořící vlastní stěny srdce. Nejvnitřnější vrstvou srdce je nitroblána srdeční (endokard). (Bulava, 2017)

Chlopně v srdci slouží k oddělení jednotlivých dutin a zabránění zpětnému toku krve (viz Obrázek 1). Chlopně nejsou inervované (spojené nervovými vlákny) a jsou bezcévné, což znamená, že se otevírají a zavírají na základě tlakového gradientu. Celkem se v srdci nachází



čtyři srdeční chlopně. Chlopeň trojcípá (valva tricuspidalis) se nachází mezi pravou předsíní a pravou komorou a směřuje tok krve z předsíně do komory. Chlopeň dvojčípá (valva bicuspidalis, mitralis) se nachází mezi levou předsíní a levou komorou. Je to srdeční cípatá chlopeň. Tyto cípy jsou zadržovány šlašinkami, aby se zabránilo jejich obrácení do předsíní. Na začátku velké tepny vyústěné z pravé komory se nachází trojcípá poloměsíčitá chlopeň (valva trunci pulmonalis, valvulae semilunares), která umožňuje tok krve do plicnice (truncus pulmonalis). Aortální chlopeň (valva aortae) se nachází mezi levou komorou a aortou a je také trojcípá. Jakmile projde krev chlopní, proudí dále do velkého krevního oběhu. (Fiala et al., 2015)

Srdce se skládá ze dvou svisle oddělených polovin, jsou rozděleny svalovou přepážkou, která rozděluje srdce jak anatomicky, tak i funkčně. Krev prochází čtyřmi dutinami v srdci. Jsou to: pravá předsíň (atrium dextrum), pravá komora (ventriculus dexter), levá předsíň (atrium sinistrum) a levá komora (ventriculus sinister). (Fiala et al., 2015)



**Obr. 1.2** Anatomická stavba srdce

1 – horní dutá žíla, 2 – pravá větev plicnice, 3 – pravostranné plicní žíly, 4 – pravá síň, 5 – trikuspidální chlopeň, 6 – pravá komora srdeční, 7 – dolní dutá žíla, 8 – papilární svaly a závěsný aparát trikuspidální chlopně, 9 – mezikomorové septum, 10 – oblouk aorty, 11 – levá větev plicnice, 12 – levostranné plicní žíly, 13 – mitrální chlopeň, 14 – aortální chlopeň, 15 – chlopeň plicnice, 16 – papilární svaly a závěsný aparát mitrální chlopně

**Obrázek 1** - Anatomická stavba srdce (Bulava, 2017)

## **2.1.2 Tepny a žíly**

Céva vedoucí krev od srdce se nazývá tepna (arteria), céva vedoucí krev k srdci je žíla (vena).

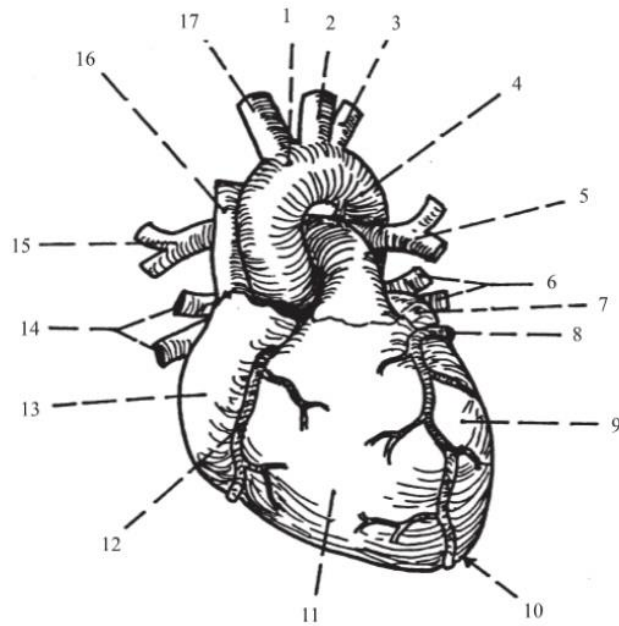
Tepny jsou cévy vedoucí krev ze srdce. Musí snášet vysoký krevní tlak, z tohoto důvodu mají silnější stěny oproti žilám. Kromě toho jsou tepny chráněny okolními svaly. Na své cestě se postupně větví a zeslabují, až se stávají vlásečnicemi (kapilárami). Vlasečnice jsou tenkostěnné a velmi jemné cévy, spojují tepenný a žilní oběh a umožňují výměnu krevních plynů mezi krví a tkáněmi. Kapiláry mají stěnu tvořenou pouze jednou vrstvou endotelových buněk. Prostupují mnoha tkáněmi s výjimkou pokožky a pokožkových útvarů, což jsou například nehty, chlupy, vlasy nebo také chrupavky a oční rohovka. Kapilárami putuje kyslík a živiny do tkání, zatímco oxid uhličitý a odpadní látky metabolismu se vrací do krve na konci kapilár. Žíly pak vedou krev zpět do srdce z vlásečnic. Ateroskleróza koronárních cév způsobuje ischemickou chorobu srdeční, která se může projevit jako např. angina pectoris nebo infarkt myokardu. (Bulava, 2017)

### **2.1.2.1 Velký krevní oběh**

Velký krevní oběh, také známý jako tělní oběh začíná srdečnicí (aortou) vycházející z levé komory (ventriculus sinister). Vede okysličenou krev do celého těla. Z oblouku aorty (arcus aortae) vystupují velké cévy (viz Obrázek 2), zásobující krví hlavu, krk a dolní končetiny. Aorta hrudní (aorta thoracica) je další částí sestupné aorty (aorta descendes) a následně se po průchodu bránicí stává aortou břišní (aorta abdominalis). Toto cévní spojení se dále dělí na tepny kyčelní (arteriae iliacae), které zásobují pánevní oblast a přecházejí v tepny stehenní (arteriae femorales) v tříselech a posléze do tepen bérceových konkrétně v holenní a lýtkovou (arteria tibialis a arteria fibularis), zásobující dolní končetiny. Velký krevní oběh končí v pravé síni (atrium dextrum) horní dutou žílou (vena cava superior) a dolní dutou žílou (vena cava inferior). Jeho funkcí je okysličovat všechny buňky, tkáně a orgány v těle.

### **2.1.2.2 Malý krevní oběh**

Malý krevní oběh, známý také jako plicní oběh začíná plicnicí (truncus pulmonalis) vycházející z pravé komory (ventriculus dexter) a vede odkysličenou krev do plic. Malý krevní oběh končí čtyřmi plicními žilami (venae pulmonales) do levé komory (ventriculus sinister). Jeho funkcí je okysličování krve v plicích.



**Obr. 2.1 Srdce s věnčitými tepnami**

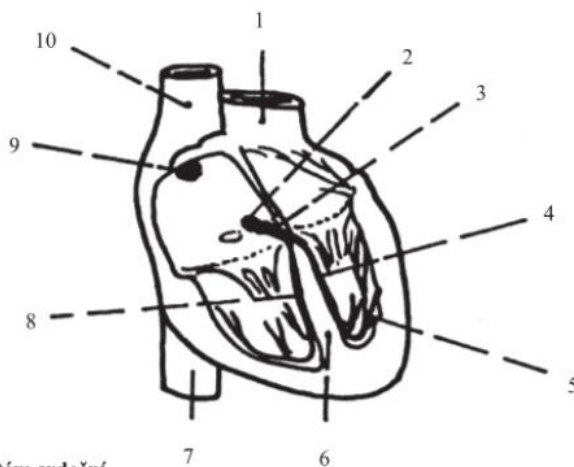
1 – oblouk aorty, 2 – a. carotis communis sinistra, 3 – a. subclavia sinistra, 4 – sestupná část aorty, 5 – a. pulmonalis sinistra, 6 – vv. pulmonales sinistrac, 7 – levé ouško, 8 – a. coronaria sinistra, 9 – levá komora, 10 – srdeční hrot, 11 – pravá komora, 12 – a. coronaria dextra, 13 – pravá předsíň, 14 – vv. pulmonales dextrae, 15 – a. pulmonalis dextra, 16 – v. cava superior, 17 – truncus brachiocephalicus

**Obrázek 2** – Srdce s věnčitými tepnami (Fiala et al., 2015)

### 2.1.3 Převodní systém srdeční

Převodní systém srdeční je specializovaná tkáň nacházející se jak v srdečních síních, tak v komorách. Je to komplex neobvyklých svazků, uzlů a vláken (viz Obrázek 3). Skládá se ze stavebně rozdílných srdečních svalových buněk, zajišťujících produkci, převod vzruchů a řídí smrštitelnost ostatní srdeční svaloviny. Celý systém má hlavní význam pro koordinaci stahů síní a komor, a jeho poškození může vést k různým frekvenčním a převodním odchylkám, poruchám vedení vzruchu a poruchám srdečního rytmu (arytmie), které jsou způsobeny narušením tvorby vzruchu. Skládá se ze sinoatriálního uzlu (nodus sinuatrialis; SA uzel) a atrioventrikulárního uzlu (nodus atrioventricularis; AV uzel), síňokomorového svazku (fasciculus atrioventricularis; Hisův svazek), pravého a levého Tawarova raménka (crus dextrum et sinistrum) a Purkyňových vláken. SA uzel určuje základní rytmus srdeční činnosti, tudíž je hlavním pacemakerem (udavatelem kroku). Vytváří asi 70 vzruchů za minutu. Je uložen při ústí horní duté žíly do pravé síně. AV uzel je „záložní systém“, nahrazuje SA uzel, pokud nefunguje. Frekvence vzruchů je 40–50 za minutu. Je umístěn mezi pravou síní a pravou komorou při vstupu dolní duté žíly. Síňokomorový svazek (Hisův svazek) se větví na Tawarova raménka pravá a levá mezikomorovou přepážkou. Levé Tawarovo raménko se dělí na levý

přední a levý zadní svazek. Všechny svazky a raménka skončí v terminálním větvení drobných vláček nazývaných Purkyňova vlákna. (Kachlík, 2015)



**Obr. 2.2** Převodní systém srdeční

1 – aorta, 2 – nodus atrioventricularis, 3 – Hisův svazek, 4 – levé raménko převodního systému, 5 – Purkyňova vlákna, 6 – mezikomorová přepážka, 7 – dolní dutá žíla, 8 – pravé raménko převodního systému, 9 – nodus sinuatrialis, 10 – horní dutá žíla

**Obrázek 3** - Převodní systém srdeční (Fiala et al., 2015)

Elektrické potenciály vznikají při činnosti srdce, které jsou měřitelné elektrokardiografem (EKG). Lékař naslouchá srdeční zvuky fonendoskopem a tonometrem měří krevní tlak. Tvorba elektrických impulzů, excitabilita, vodivost a kontraktilita jsou základními vlastnostmi srdečních buněk a jsou odpovědné za jejich funkci. Tyto vlastnosti jsou přirozené pro srdce a jsou zajištěny složitým procesem výměny iontů na buněčných membránách. Ty jsou ovlivňovány různými faktory, včetně prostředí a nervového systému. (Bulava, 2017)

## 2.2 Ischemická choroba srdeční

Ischemická choroba srdeční je v průmyslově vyspělých zemích nejčastější příčinou mortality. Vede k tomu nejen genetická dispozice, ale i způsob moderního života člověka: kouření, obezita, mentální stres, nedostatek pohybu, cukrovka nebo zvýšený krevní tlak.

Adekvátní zásobení kyslíkem a živinami je pro srdeční svalovinu klíčové, pro její správnou funkci a udržení vitality. Pokud k tomuto zásobení nedochází v dostatečné míře, může dojít k ischemii myokardu, což je stav nedostatečného prokrvení srdečního svalu. Nejčastější příčinou tohoto stavu je ateroskleróza, což je onemocnění, při němž dochází k ukládání tukových látek do stěn tepny. Hladké, elastické tepny, které kladou krevnímu oběhu malý odpor se tak postupně zhoršují a zužují. První příznaky aterosklerotických plátů se mohou objevit již v dětství. Pláty se postupně vyvíjejí, narůstají do různých velikostí a mění svou strukturu. Ateroskleróza tak zužuje tepny, zásobující orgány krví nepostradatelné pro život mozku, srdce,

ledvin, očí, nebo také končetin. Tento proces je nebolestivý, ač by se to mohlo zdát výhodou, opak je ten, že je to spíše nevýhoda, protože nemocný si nebezpečí, které z něj plyne neuvědomuje. (Veselka, 2009) Další příčinou vzniku ICHS je hemodynamická stenóza. Je to zúžení průsvitu v cévě, které způsobuje snížení průtoku krve a nedostatečné okysličení srdce. Pokud je nedostatečné okysličení srdce dlouhodobé, může dojít k poškození srdce a vzniku ischemické choroby srdeční.

### **2.2.1 Angina pectoris**

Je nejběžnější formou ICHS. Projevuje se bolestí na hrudi. Je zapříčiněná menším dodáním kyslíku do srdečního svalu, a tím omezením dodávky kyslíku odpovídající jeho bezprostřední potřebě. Spotřeba kyslíku srdečním svalem závisí na tepové frekvenci a krevním tlaku, proti kterému musí srdce pracovat. Při fyzické námaze nebo vysokém krevním tlaku se může objevit anginózní bolest způsobená nedostatečnou dodávkou kyslíku do srdce. Typická angina pectoris se obvykle projevuje tlakem, řezáním a pálením uprostřed hrudníku za hrudní kostí. Může se také šířit do levé horní končetiny a někdy se vyskytuje pod levou lopatkou, v dolních partiích krku a v nadbříšku. (Veselka, 2009)

Angina pectoris se dělí na dvě hlavní kategorie na stabilní a nestabilní anginu pectoris. Stabilní angina pectoris má název odvozený dle její určité neměnnosti příznaků, které jsou popsány výše a odezní u nemocného po odpočinku nebo užití některých rychle působících léků. (Veselka, 2009)

Na druhé straně nestabilní angina pectoris se projevuje vznikem či okamžitým zhoršením obtíží, které byly doposud stabilní a mohou se objevit dokonce i v klidu. (Veselka, 2009) Tato forma anginy pectoris je spojena se zvýšeným rizikem vzniku akutního infarktu myokardu nebo náhlé smrti. Může být také příznakem menšího infarktu myokardu, nazývaným běžně i v češtině anglickou zkratkou non-STEMI. Vyžaduje intenzivní léčbu, krátkou hospitalizaci a klid na lůžku. Je důležité, aby byla tato forma ICHS správně diagnostikována a léčena, aby se minimalizovalo riziko komplikací.

Ne každá ischemie vyvolává bolest, proto vztah mezi anginózní bolestí a srdeční ischemií není jasný. Jedná se o tzv. němou ischemii neboli nedokrevnost. Potvrdí se typickými změnami na EKG, horizontálními depresi úseků ST. Častěji se vyskytuje u diabetiků, žen, hypertoniků a u nemocných, kteří prodělali infarkt myokardu. (Špinar et al., 2003)

### **2.2.2 Akutní infarkt myokardu**

Je další běžnou formou ICHS. Je akutní, život ohrožující stav způsobený uzávěrem nebo výrazným zúžením koronární tepny, vedoucí k odumření části srdečních buněk, zásobených postiženou tepnou. Bohužel lidské tělo není schopné nahradit svalové buňky, které zanikly v důsledku aterosklerózy. K prasknutí aterosklerotického plátu a následnému uzávěru krevní sraženinou (trombem) dochází obvykle na místech zúžených věncitých tepen, a to může vést k vážným následkům. V každém případě se jedná o boj s časem, srdeční sval je značně citlivý, pokud nemá dostatek kyslíku a při uzavření věncité tepny dochází k odumření srdečních buněk během pár hodin. (Veselka, 2009)

## **2.3 Magnetická rezonance**

Magnetická rezonance je zobrazovací metoda, která využívá silné statické magnetické pole a elektromagnetické vlnění. MR nevyužívá ionizující záření, má proto nulovou radiační zátěž. Slouží především pro posouzení morfologie a patologie měkkých tkání – mozek, mícha, šlachy, svaly, klouby, ale i jiné orgány.

### **2.3.1 Historie MR**

Jedním z nejzásadnějších milníků vývoje magnetické rezonance byl objev jaderného spinu Wolfgangem Paulim. Tento jaderný spin předpověděl prostřednictvím čtvrtého kvantového čísla v roce 1924. V roce 1945 obdržel Nobelovu cenu. Roku 1938 Isidor I. Rabi poprvé popsal princip nukleární magnetické rezonance. Za tento objev získal v roce 1944 Nobelovu cenu za fyziku. Rok poté v roce 1946 Felix Bloch a Edward M. Purcell rozšířili aplikační poznatky pokusy s nukleární magnetickou rezonancí u vzorků pevných látek a kapalin. V roce 1952 dostali Nobelovu cenu za fyziku. Vědec Raymond Damadian v roce 1972 poprvé navrhuje využití nukleární magnetické rezonance jako tomografickou zobrazovací metodu. Roku 1973 Paul C. Lauterbur vyvinul magnetickou rezonanci a získal první sken dvou trubic, které byly naplněné vodou. V roce 2003 byl oceněn Nobelovou cenou za fyziologii a medicínu společně s P. Mansfieldem, za jejich objevy a přínos v oblasti zobrazování magnetickou rezonancí. V roce 1974 Paul C. Lauterbur a J. M. S. Hutchinson provedli první MR sken živým organismem na laboratorní myši. Roku 1976 P. Mansfield a A. A. Maudsley provedli první sken na lidské tkáni – prstu a v roce 1977 Raymond Damadian zveřejňuje první MR obraz lidského hrudníku. (Brus, Kříž, 2006)

### 2.3.2 Základní princip MR

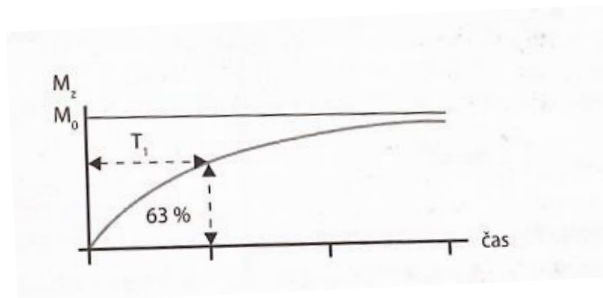
Magnetická rezonance využívá fyzikálních jevů, které spočívají v tom, že jádra atomů s lichým počtem protonů se chovají jako malé magnety se svým severním a jižním pólem a vytvářejí tak zevní magnetické pole. V lidském těle tvoří voda dvě třetiny tělesné hmotnosti, což zahrnuje vodu obsaženou v každé tkáni. Magnetická rezonance pracuje pouze s tkáněmi obsahujícími vodu, jehož součástí je vodík. Vodík obsahuje v jádře pouze jeden proton a je nejhojnějším prvkem v biologické tkáni. Je ideálním prvkem, protože dokáže poskytnout až 1 000krát silnější MR signál než ostatní prvky. Standardně se jedná o jediný prvek, který se při zobrazování využívá. (Seidl et al., 2012)

Při zobrazování MR se nejprve dodá energie protonům vodíku, aby se získala data a provedlo se zobrazení. Poté se sleduje, jak rychle protony ztrácejí energii v různých tkáních. Pokud jsou protony umístěny v silném vnějším magnetickém poli, dojde k usměrnění jejich magnetických momentů souběžně se směrem tohoto pole. Magnetický moment protonů může být ve dvou energetických stavech – paralelně (rovnoběžně) a antiparalelně (ve směru či protisměru) s vnějším magnetickým polem. Stav, kdy má magnetický moment směr paralelní ve směru vnějšího magnetického pole, je o něco energeticky výhodnější, je méně energeticky náročnější než antiparalelní. Z tohoto důvodu více protonů i jejich výsledný magnetický moment směřují paralelně. Každé vodíkové jádro také koná precesní pohyb kolem osy vnějšího magnetického pole s určitou frekvencí, která se nazývá Larmorova frekvence a závisí na síle vnějšího magnetického pole. (Malíková et al., 2019)

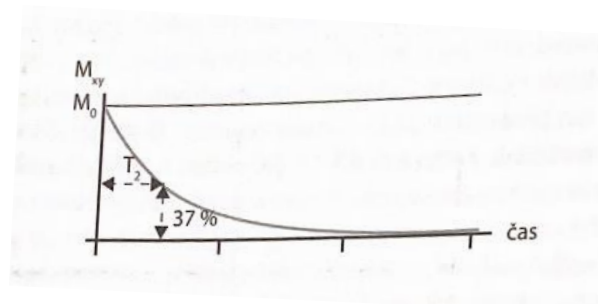
Silnější magnetické pole způsobuje vyšší frekvenci precesního pohybu jádra, což také znamená, že hranice precese jsou užší. Larmorova frekvence určitého jádra je závislá na síle vnějšího magnetického pole. Aby mohli předat energii (excitovat) protony vodíku, musí se jim dodat energie pomocí radiofrekvenčního (RF) pulzu, ten je specifický pro daný prvek v daném magnetickém poli. Má stejnou frekvenci jako Larmorova frekvence protonů. Tento proces vede k fenoménu magnetické rezonance. RF pulzy, které jsou vysílány do těla, musí obsahovat Larmorovu frekvenci, ale mohou mít i odlišnou energii. Energie RF pulzů jsou udávány ve stupních pro účely MR, protože vychýlení magnetického momentu protonů ze směru vnějšího magnetického pole závisí na dodané energii. Kolik energie je jim dodáno o tolik stupňů dojde k vychýlení. Např. běžně používaný  $90^\circ$  RF pulz, jenž sklopí magnetizaci ze směru podélného do kolmé (příčné) roviny, to je o  $90^\circ$ . Když se předá energie v podobě  $90^\circ$  RF pulzu, dojde k synchronizaci všech protonů, jenž jsou v precesním pohybu. Po vypnutí těchto pulzů zůstanou magnetické momenty protonů v příčné rovině a budou konat precesní pohyb synchronně ve fázi

s Larmorovou frekvencí. Tyto synchronizované protony vysílají RF vlnění, které můžeme zachytit na povrchu těla pomocí přijímacích cívek. (Malíková et al., 2019)

Do směru vnějšího magnetického pole se magnetické momenty protonů vracejí z příčné roviny s různou rychlostí, což závisí na jejich T1 relaxační době. Tedy definice T1 relaxačního času je nárůst podélné neboli longitudinální magnetizace (viz Obrázek 4) na 63 % původní celkové hodnoty před vysláním RF pulzu. Rychlost, se kterou se ztrácí magnetizace v příčné rovině též transversální (viz Obrázek 5), z důvodů ztráty synchronizace protonů při jejich precesním pohybu je závislá na T2 relaxaci. Tedy T2 relaxační čas je úbytek příčné magnetizace na 37 % z její maximální hodnoty po vysláním RF pulzu. Signály zachycené na přijímacích cívkách musí v sobě nést prostorovou signalizaci (neboli potřebujeme zjistit odkud, který signál přichází), tím získáme obraz. (Seidl et al., 2012)



**Obrázek 4** - Longitudinální magnetizace (Seidl et al., 2012)



**Obrázek 5** - Transverzální magnetizace (Seidl et al., 2012)

Signály zachycené na přijímacích cívkách musí v sobě nést prostorovou informaci, tím se získá obraz z jednotlivých anatomických vrstev. Docílí se toho aplikací gradientů magnetického pole. To je stav, kde se mění intenzita základního stacionárního pole lineárně v určitém směru. Umožňuje tak stanovení pozice voxelů pomocí prostorového kódování signálu. Zobrazovací sekvence nejprve definuje vyšetřovací vrstvu cestou selektivní excitace, potom následuje kódování frekvence a fáze signálu, a to tím způsobem, že každý pixel matice obsahuje unikátní frekvenci a fázi. Tedy naměřením kódovaných signálů se získá datová matice v signálové

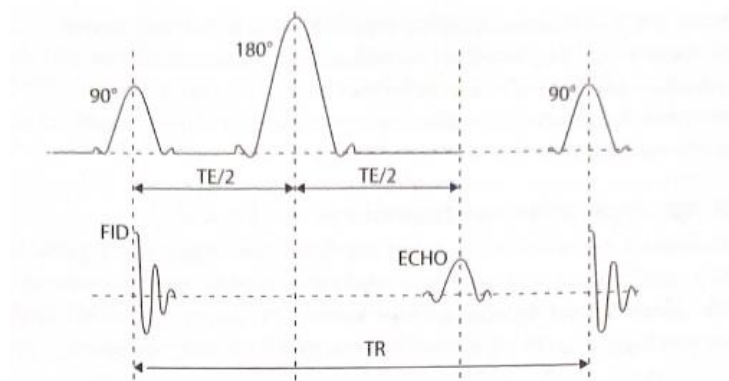


reprezentaci (raw data), která je nazývána k-prostorem. Je definován jako prostor, zahrnující frekvenční a fázová kódovaná signálová data. V praxi je vzorkován buď řádek po řádku nebo po trajektorii. Výsledný anatomický obraz se získá rekonstrukcí k-prostoru pomocí zpětné Fourierovy transformace. (Pleva, Ouředníček, 2012)

### 2.3.3 Zobrazovací sekvence

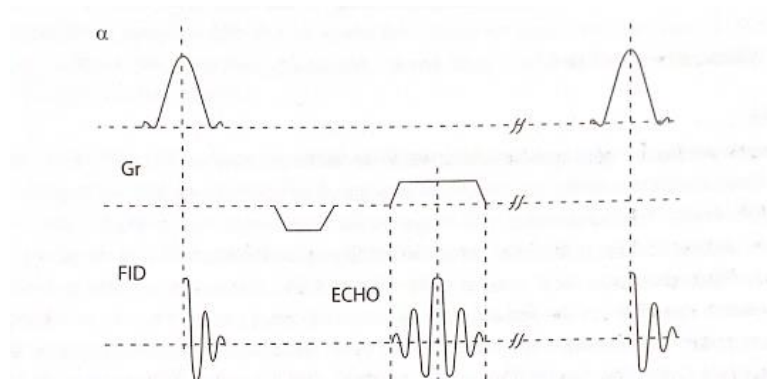
Rozeznáváme základní dva typy technik pro získání MR signálu: spinechové a gradientechové sekvence.

Spin-echo (SE) sekvence (viz Obrázek 6) se skládá ze dvou radiofrekvenčních pulzů, nejprve z  $90^\circ$  excitačního pulzu, ten generuje FID (Free Induction Decay) signál, s průběhem  $T_2^*$ . Poté ho následuje  $180^\circ$  refokusační pulz. Sekvence pulzů se opakuje podle toho, kolik řádků v k-prostoru se musí naměřit. Echo čas TE (time to echo) je čas mezi  $90^\circ$  pulzem a měřeným echem. Repetiční čas TR (time to repetition) je čas, který trvá k následnému  $90^\circ$  excitačnímu pulzu. Tedy nejdříve je aplikován  $90^\circ$  RF pulz, ten překlápí vektor magnetizace do xy roviny. Následně dochází ke ztrátě koherence v důsledku  $T_2$  relaxace. Refokusační  $180^\circ$  RF pulz je aplikován v čase  $TE/2$ , způsobuje tak překlopení precesujících jader o  $180^\circ$  v rovině xy. (Pleva, Ouředníček, 2012; Seidl et al., 2012)



Obrázek 6 - Zjednodušené schéma SE sekvencí (Seidl et al., 2012)

Další sekvencí, při které je zkrácená doba vyšetření, je tzv. gradient-echo (GE) sekvence (viz Obrázek 7). Není tu  $180^\circ$  RF pulz a děje se zde vše o mnoho rychleji než u SE v závislosti na  $T_2^*$ . Projevuje se to zvýšenou náchylností k artefaktům na rozhraní tkání s rozlišnou náchylností, které se nejčastěji projevují ztrátou signálu. (Seidl et al., 2012)



**Obrázek 7** - Zjednodušené schéma GE sekvencí (Seidl et al., 2012)

Existují tři typy MR zobrazení: protondenzitní obraz, T1 a T2 vážené obrazy. Protondenzitní obraz závisí na hustotě protonů v tkáni a na jejich množství. Není závislý na T1 ani na T2 relaxaci. T1 vážený obraz závisí na relaxaci T1, čím rychlejší je T1 relaxace tkáně, tím je vyšší signál. T2 vážený obraz závisí na T2 relaxaci, čím rychlejší je T2 relaxace tkáně, tím je nižší signál. (Malíková et al., 2019)

Mimo těchto základních sekvencí můžeme na MR využívat i další speciální sekvence, například můžeme potlačit selektivně signál z některých tkání. Nejčastěji je to sekvence s potlačením signálu tuku, pro MR zobrazení mozku je vhodná sekvence s potlačením signálu mozkomíšního moku. Aplikace gadoliniové kontrastní látky intravenózně se v T1 vážení používá pro další zvýšení rozdílu mezi signálem jednotlivých tkání a k posouzení vaskularizace patologických ložisek. Výhodou MR je také využití nativní MR angiografie bez použití kontrastní látky, jedná se o možnost odlišení pohybujících se vodíkových protonů od stacionárních, umožňující selektivní zobrazení proudící krve. Další speciální sekvencí je tzv. fázový kontrast, ten umožňuje na MR měřit i rychlost toku. Zobrazení cév lze také na MR provést pomocí aplikace gadoliniové kontrastní látky intravenózně tzv. kontrastní MR angiografie. (Malíková et al., 2019)

### 2.3.4 Přístroje MR

Přístroje pro magnetickou rezonanci se skládají z několika klíčových komponentů, včetně silného magnetu, gradientního systému, jenž je tvořen cívkami a zesilovači a RF systému s radiofrekvenčním generátorem. Kromě toho jsou v přístroji umístěny přijímací cívky, předzesilovače a zesilovače získaného signálu, který je následně digitalizován a dále zpracováván. Pro komfort pacienta nesmí chybět podpěra stolu a stabilní povrch, na kterém leží v klidu během vyšetření. Kromě toho se používá systém pro monitorování fyziologických funkcí pacienta (EKG, periferní pulz a dechový cyklus), aby bylo možné sledovat jeho stav

během vyšetření. Magnetická rezonance je umístěna ve stíněné místnosti tzv. Faradayově kleci. Konstrukce je pokrytá mědí a zabraňuje vniknutí RF pulzů z okolí. (Pleva, Ouředníček, 2012)

### **2.3.5 Artefakty MR obrazu**

*„Artefakt lze definovat jako signálovou intenzitu v MR obrazu, která neodpovídá skutečné prostorové distribuci tkání a většinou způsobuje zhoršení kvality a snížení výpovědní hodnoty získaného obrazu.“* (Seidl et al., 2012, s. 63) Existuje celá řada skupin artefaktů. Jedná se o artefakty nevyhnutelné a vlastní pro použitou sekvenci, mezi ně patří chemický posun a susceptibilní gradienty. Druhou skupinou jsou artefakty, které jsou vytvořeny převážně pacientem. Třetí skupinou jsou artefakty vznikající při poruše přístroje. (Seidl et al., 2012)

### **2.3.6 Indikace MR**

Magnetická rezonance nabízí vynikající tkáňový kontrast, avšak kvůli její vyšší ceně a horší dostupnosti se používá jako metoda druhé či třetí volby po např. rentgenovém (RTG) snímku, výpočetní tomografii (CT) nebo ultrazvukovém vyšetření. V některých případech je však nutné zvažovat MR jako první volbu, zejména u indikací, kde jiné zobrazovací metody nedokážou posoudit určité struktury. Důležitým faktorem hovořícím pro MR je absence ionizujícího záření, což je velmi důležité pro děti a ženy ve fertilním věku. MR se nejčastěji používá jako první volba pro zobrazení mozku k posouzení zadní jámy, hypofýzy a postižení bílé hmoty. Dále u zobrazení páteře, zejména při podezření na postižení míchy, a pro zobrazení malé pánve k posouzení tumorů prostaty, dělohy a rekta. (Malíková et al., 2019)

### **2.3.7 Kontraindikace MR**

Kontraindikace jsou absolutní a relativní. Platí jak pro pacienty, tak i pro obsluhující personál, doprovod, údržbu, zkrátka pro kohokoli, kdo chce vstoupit do vyšetřovací místnosti. Absolutní kontraindikací je kardiostimulátor, pokud se nejedná o MR kompatibilní typ. Před zahájením vyšetření je nutné přepnout kardiostimulátor do MR kompatibilního módu, které provádí kardiolog. Pacient musí mít potvrzení o kompatibilitě celého stimulačního systému a jeho součástí je i protokol o přepnutí MR kompatibilního módu, ten je platný nejvýše 24 hodin. Během vyšetření je nezbytná EKG monitorace vyšetřovaného a po jeho ukončení je potřeba kardiostimulátor přepnout do běžného režimu. Elektronické implantáty (kochleární, inzulinová pumpa atd.) a aneurysmatické cévní svorky (klipy) jsou absolutní kontraindikací, pokud není písemně doložená MR kompatibilita. Také kovová cizí tělesa umístěna intrakraniálně nebo v orbitě, pokud nejsou z prokazatelně nemagnetického kovu, jsou kontraindikací pro provedení MR. (Malíková et al., 2019)

Relativní kontraindikací je přítomnost cizích kovových těles v těle pacienta, které sice většinou neohrožují život, ale jejich zahřátí může být během MR nekomfortní až bolestivé a v extrémních případech může dojít k lokálnímu popálení. Proto se u stentů (cévní výztuže), kovového embolizačního materiálu, žilních filtrů, okluderů, kloubních náhrad, osteosyntetického materiálu a dentálních implantátů doporučuje počkat minimálně 6 týdnů od implantace před provedením MR vyšetření. Relativní kontraindikací je i klaustrofobie (strach z uzavřených či malých prostor), což může být zásadní překážkou při vyšetření. (Malíková et al., 2019)

### **2.3.8 Příprava na MR vyšetření**

Žádná speciální příprava není prakticky nutná. Nutné je před vyšetřením pacientovi odebrat anamnézu a vysvětlit mu následný postup. Doba trvání vyšetření je asi od 20 do 60 minut v závislosti na diagnóze, proto je nutná spolupráce s pacientem, který by měl zaujmout co nejpohodlnější polohu. Během vyšetření je v gantry velký hluk, způsobují ho gradientní cívky spínané během sekvencí, proto pacient dostává adekvátní ochranu sluchu. Dále je nutné vyloučit kontraindikace, zjistit přítomnost protéz, arteficiálních náhrad, cizích tělísek apod. a ujistit se o jejich MR kompatibilitě. Každý pacient vyplňuje před vyšetřením dotazník, aby se předešlo případnému nebezpečí. Před skenováním se zajišťuje žilní vstup pro aplikaci kontrastní látky. U zátěžového vyšetření se zajišťuje druhý žilní vstup pro aplikaci farmakologické zátěže. Před intravenózním podáním kontrastní látky je třeba vyloučit renální selhání. (Pleva, Ouředníček, 2012)

### **2.3.9 Kontrastní látky**

Kontrastní látky (KL) slouží ke zvýšení kontrastu v obrazu mezi různými tkáněmi, k lepšímu zobrazení anatomických struktur a orgánů, ke zvýšení patologie a posouzení funkce. KL fungují na principu změny absorpce záření v cílovém orgánu. Kontrastní látky se dělí na pozitivní a negativní. Pozitivní zvyšují absorpci RTG záření. Mezi ně patří baryové, jodové nebo třeba gadoliniové KL. Negativní absorpci snižují, jsou to vzduch, oxid uhličitý a metylcelulóza. (Seidl et al., 2012)

Při vyšetření MR se používají v klinické praxi gadoliniové KL, jenž zvyšují kontrast tkání. U vyšetření srdce se podávají pouze intravenózně. Jejich aplikací se zkracují T1 a T2 relaxační časy. Gadolinium samotné je toxické, proto musí být v chelátu, tato vazba musí být dostatečně silná a stabilní. Gadoliniové kontrastní látky jsou rozpustné ve vodě, vylučují se převážně ledvinami. Biologický poločas neboli eliminační při běžné dávce (10 ml) je cca 70–90 minut

a kompletní vyloučení z těla je za cca 6 hodin. Další výhodou je, že jsou dobře snášené, minimálně alergizující a nejsou nefrotoxické. (Malíková et al., 2019)

Mezi nežádoucí účinky nejčastěji patří nauzea, zvracení, bolest hlavy, vyrážka, křeče nebo pocit tepla. Může nastat nefrogenní systémová fibróza (NSF), a to u jedinců s těžkým poškozením funkce ledvin, někdy před transplantací jater. V současné době se vychází z doporučení: u nemocných starších 65 let před aplikací KL je nutné provést laboratorní vyšetření k posouzení funkce ledvin, u rizikových skupin aplikovat co nejmenší dávku KL a neopakovat vyšetření s kontrastem do týdne, u těhotných matek vyšetření s KL jen s jejich souhlasem a v neodkladných případech. (Seidl et al., 2012)

Postkontrastní sken – late gadolinium enhancement (LGE) neboli pozdní zesílení gadoliniem je speciální zobrazovací sekvence v magnetické rezonanci srdce, která se používá k zobrazování patologických změn v srdečním svalu. Tento typ skenování využívá KL obsahující gadolinium, aplikuje se intravenózně a následně se zobrazí pomocí MR. LGE se zaměřuje na oblast poškození nebo jizev v srdci, která jsou charakteristická pro různá srdeční onemocnění jako např. ICHS, kardiomyopatie nebo srdeční arytmie. Lékařům umožňuje tento typ skenování získat podrobnější informace o rozsahu a umístění poškození v srdci, což může pomoci při stanovení diagnózy a plánování léčby.

## **2.4 Zátěžové vyšetření**

V kardiologii jsou zátěžové testy základní vyšetřovací metodou. Nejčastěji se tato vyšetření používají z diagnostického důvodu, ale také k určení zátěžové kapacity, posouzení prognózy či zhodnocení léčby. V dnešní době je řada zátěžových testů, jejich výběr záleží na tom, jaká je požadována skutečnost. U nemocných pacientů s ICHS se má jako hlavní cíl vyprovokovat ischemie. Může docházet k myokardiální ischemii, kdy její známky a symptomy slouží jako diagnostický ukazatel. (Špínar et al., 2003)

Metody, které jsou schopny odhalovat zátěží indukovanou ischemii jsou zátěžový SPECT myokardu a zátěžové ECHO. Jejich výhodou je dostupnost a možnost použití jak fyzické, tak i farmakologické zátěže. Na MR zátěži se využívá pouze farmakologická vzhledem k charakteru vyšetření. Používají se standardní farmaka adenosin nebo dipyridamol k rozšíření cév neboli k vazodilataci a dobutamin k ionotropní stimulaci. (Pleva, Ouředníček, 2012)

V dnešní době je velmi rozšířená v diagnostice ICHS metoda zátěžové echokardiografie. Mezi typy zátěže při echokardiografii patří: izometrická, dynamická a farmakologická zátěž.

### **2.4.1 Izometrická zátěž**

Izometrická zátěž je zvyšující se tón bez zkrácení svalového vlákna a provádí se tzv. handgrip testem. Jde o stisk siloměru určitou silou po určitou dobu. Dochází k výraznému zvýšení systolického i diastolického krevního tlaku a zvýšení tepové frekvence.

### **2.4.2 Dynamická zátěž**

Fyzická zátěž, nazývaná též dynamická, je nejvíce přirozenou formou zátěže pro tělo. Mezi nejčastější způsoby dynamické zátěže patří bicyklová ergometrie či zátěž pomocí běhátko. Tento typ zátěže se často využívá při echokardiografii nebo radionuklidových vyšetřeních. Ergometrie ukáže, jak srdce zvládá fyzickou námahu. Je-li člověk v klidu, srdce nepracuje naplno, proto se některá onemocnění srdce projeví až na vrcholu námahy. Při bicyklové zátěži se zvyšuje postupně zátěž za současného snímání EKG, průběžně je měřena tepová frekvence a krevní tlak pacienta. Vyšetření pokračuje do té doby, než vyšetřovaný nedosáhne vyššího stupně zátěže, neobjeví se příznaky jako je bolest na hrudníku nebo slabost či nenastanou změny na EKG. (Špinar et al., 2003)

### **2.4.3 Farmakologická zátěž**

Farmakologická zátěž neboli zátěž podáním účinných látek, které zvyšují kontraktilitu myokardu, a tím také spotřebu kyslíku. Po bicyklové ergometrii je dipyridamol druhou nejpoužívanější zátěží. Tento pyrimidinový derivát je koronární vazodilatační látka při léčbě anginy pectoris. Používá se k dilataci cév u lidí s onemocněním periferních tepen a koronárních tepen. Zvyšuje perfuzi myokardu a funkci levé komory u pacientů s ischemickou kardiomyopatií. Při podání vyšší dávky vede mechanismem arteriální vazodilatace ke zvýšenému průtoku krve myokardem a k tzv. steal efektu. Plazmatická hladina endogenního adenosinu způsobuje vazodilatační účinek. Ke zvyšování plazmatické hladiny dochází při perorálním i intravenózním podání dipyridamolu, který blokuje membránový transport adenosinu do buněk. Po podání dipyridamolu dochází k vazodilatačnímu efektu hlavně na úrovni malých rezistenčních arteriol. Výsledným efektem je pokles koronární cévní rezistence a následkem je zvýšení koronárního průtoku. Další účinnou látkou je dobutamin. Je to syntetický katecholamin. Zlepšuje kontraktilitu srdce, také zvyšuje minutový srdeční výdej. Používá se především u akutnějších stavů ke zvýšení nízkého tlaku či k podpoření činnosti selhávajícího srdce. Dobutamin se vyrábí jako roztok a podává se pomocí infuze. Účinek nastane během 2 minut od podání. Výhodou dobutaminu je, že se zvyšováním dávky se odstupňuje zátěž. Arbutamin je další účinnou látkou používanou při zátěžovém vyšetření. Je krátkodobě působící, syntetický katecholamin. Jeho výsledkem je zvýšení krevního tlaku,

srdeční frekvence a srdeční kontraktility. Lépe simuluje fyziologickou zátěž než dobutamin. Je podáván infuzí pomocí počítačově řízeného zařízení, jenž dávkuje arbutamin podle nárůstu tepové frekvence za minutu, díky monitorování srdeční frekvence. (Špinar et al., 2003; Berková, 2002)

#### **2.4.4 Zátěžové vyšetření na MR**

Nejčastěji prováděným zátěžovým testem na magnetické rezonanci je zátěžová perfuze myokardu při použití vazodilatačních látek. K diagnostice se používá infuze s adenosinem. Výkon umožní přesně posoudit perfuzi srdečního svalu a činnost levé srdeční komory. Výhodou perfuze myokardu na MR patří její výborná rozlišovací schopnost, která je v rozmezí 2–3 milimetrů, nepřítomnost ionizujícího záření, možnost sledovat vizuálně dynamiku průchodu kontrastem, a také rychlost testování. Nejčastěji se toto vyšetření provádí při prokázání ischemické choroby srdeční. (Pleva, Ouředníček, 2012)

Další metodou k zjištění zátěžové ischemie myokardu je dobutaminový zátěžový test. Magnetohydrodynamický efekt pulzující krev, zabraňuje přesnému hodnocení EKG změn během vyšetření. Vyšetření se zaměřuje na hodnocení kinetiky všech stěn levé komory během každého stupně zátěže. K tomu lze použít upravené dynamické sekvence, které jsou schopny zobrazit celou levou komoru během jednoho nádechu nebo v reálném čase kontrolovat kinetiku stěn. (Pleva, Ouředníček, 2012)

Adenosinový test je výhodný pro pacienty s podezřením na ICHS, u nichž je potřeba vyloučit lokální ischemii srdečního svalu při zátěži. Adenosin má krátký poločas rozpadu, odhaduje se na 10 sekund. (Špinar et al., 2003) Užívá se ve formě přípravku zvaného Adenocor jako zátěžová látka a má účinek jako fyzická zátěž. Měl by být podáván přímo do žíly nebo do kanyly formou bolusu. Je třeba podávat adenosin ve zdravotnických zřízeních s vybavením pro kardiologické monitorování a resuscitaci a je nutné neustále monitorovat EKG během vyšetření. Nežádoucí účinky bývají u většiny pacientů mírné. Jedná se o lehké závratě, bolest hlavy, zarudnutí, tlak na hrudi, nauzeu, dušnost. Během zátěžového vyšetření dochází k hypotenzi a mění se tepová frekvence (TF), kdy se jedná hlavně o tachykardii. Kontraindikací jsou osoby s astmatem nebo bronchiálním onemocněním, s poruchou srdečního rytmu či jedinci, kteří užívají určité léky jako jsou teofylin a dipyridamol. (SÚKL, 2021)

Jako další účinnou látku pro farmakologickou zátěž srdce při MR vyšetření lze použít regadenoson. Užívá se ve formě přípravku zvaného Rapiscan. Je to selektivní vazodilatátor a je určen výhradně k diagnostickým účelům. Používá se při perfuzní scintigrafii myokardu

u pacientů, kteří nemohou podstoupit adekvátní fyzickou zátěž. Dále u měření frakční průtokové rezervy stenózy jedné koronární tepny během invazivní koronární angiografie. Regadenoson způsobuje koronární vazodilataci a zvyšuje koronární krevní průtok. Podává se ve zdravotnických zařízeních s vybavením pro kardiologické monitorování a resuscitaci. Při použití regadenosonu se musí neustále sledovat EKG a životní funkce, protože může způsobit závažné a život ohrožující reakce. Pacienti jsou sledováni od podání injekce až do doby, kdy se vrátí fyziologické funkce zpět na hodnoty jako před zahájením vyšetření. Nežádoucí účinky bývají však u většiny jedinců mírné, jde o bolest hlavy, dyspnoe, zarudnutí nebo bolest na hrudi. Může docházet i k hypotenzi či hypertenzi. Ve většině případů se jedná o rychlé zvýšení tepové frekvence, kdy během 10 sekund je návrat TF do normálu. Kontraindikací jsou pacienti s bronchiálním astmatem či s obstrukcí větvení srdečních cév. Regadenoson není doporučen pro pacienty trpící poruchami jater, zvýšeným krevním tlakem a závažnými srdečními onemocněními. (EMA, 2021)



### **3 VÝZKUMNÁ (PRAKTICKÁ) ČÁST**

Praktická část vychází z teoretické části. Hlavním cílem praktické části je porovnání farmakologických zátěžových látek dle zdravotní dokumentace. Dílčím cílem je porovnání rozdílu, změn krevních tlaků a vedlejších účinků u dvou skupin respondentů a následné porovnání s literaturou.

#### **3.1 Pro koho je vyšetření vhodné**

Zátěžové vyšetření srdce na magnetické rezonanci s adenosinem a regadenosonem je určené pro pacienty s podezřením na ischemickou chorobou srdeční u nichž je třeba vyloučit lokální ischemii srdečního svalu při zátěži. Řadí se mezi vyšetření s delší dobou trvání. Ta se odhaduje zhruba na 40 až 60 minut. Doba se odvíjí dle diagnózy nemocného.

#### **3.2 Postup vyšetření**

Pacient přichází na zátěžové vyšetření nalačno, tzn. 4 hodiny před výkonem nejí. Je důležité, aby se vyvaroval kofeinovým nápojům, černému čaji a čokoládě 24 hodin před zahájením. Látky obsažené v těchto potravinách působí jako antagonisté podávaných léků a s velkou pravděpodobností by bylo vyšetření po požití těchto potravin nedignostické. Léky, které pravidelně užívá nejpozději 4 hodiny před zahájením vysadí. Betablokátory zpomalující tepovou frekvenci se vysazují 24 hodin před vyšetřením. Před samotným vyšetřením se provede osobní identifikace, zjistí se alergická anamnéza pacienta a je dotazován na kontraindikace, zda nemá na sobě či v těle kovy, případně aby si vše kovové sundal. Je poučen o průběhu vyšetření, včetně pokynů nadechnout, vydechnout, zadržet dech, nedýchat. Je informován o tom, že je důležité, aby ležel v klidu a nehýbal se. Následně vyplní dotazník na kontraindikace (viz Příloha A a Příloha B) a podepíše informovaný souhlas. Dle standartu pracoviště zdravotní sestra nebo radiologický asistent zavede pacientovi periferní žilní katetr, tím bude do žilního řečiště aplikována látka pro farmakologickou zátěž a kontrastní látka. Jako farmakologická látka se používá Rapiscan nebo Adenocor. Rapiscan se používá ve formě injekčního roztoku, kdy jedna injekční lahvička obsahuje 5 ml regadenosonu 400 mikrogramů. Dávkování přípravku není podmíněno hmotností jedince. Výhoda u regadenosonu je ta, že stačí mít zavedený jen jeden nitrožilní vstup. Pro podání adenosinu je potřeba jeden nitrožilní vstup a pro kontrastní látku druhý. Adenocor se během MR perfuze podává kontinuální infuzí. Dávkování je závislé na hmotnosti jedince (viz Příloha D). Podávané množství adenosinu se postupně zvyšuje do doby nástupu symptomů (dušnost, tlak na hrudi, tlak do hlavy) nebo do maximální doporučené dávky 210  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ . V případě vyšetření provedeného s regadenosonem si zdravotní sestra

nachystá přípravek Syntophyllin, podává se nitrožilně dle tělesné hmotnosti pacienta. Syntophyllin obsahuje léčivou dávku amynofylin, to je komplex dvou látek edaminu a theofylinu. Tento přípravek působí jako antagonistu regadenosonu, tedy zmírňuje, až ruší jeho účinek. V případě použití adenosinu se další léky vzhledem k jeho krátkému biologickému poločasu nepodávají.

Před samotným vyšetřením radiologický asistent nachystá kontrastní látku konkrétně s obsahem gadolinia. Během vyšetření je aplikována automatickým injektorem – pumpou (viz Obrázek 8). Jeden zásobník je naplněn gadoliniovou KL, kterou je na daném pracovišti Gadovist. Aplikuje se dle hmotnosti pacienta. Obvyklou celkovou dávkou KL je 0,15 ml/kg. Druhý zásobník je naplněn fyziologickým roztokem.



**Obrázek 8** - Automatický injektor – pumpa (Medtron.com, 2021)

Pro zátěžové vyšetření srdce je nutností sledovat pacienta. Monitorují se vitální funkce (EKG, pulzní oxymetr a monitorace krevního tlak). Pozorovací systémy jsou v dnešní době vyrobeny tak, aby mohly být umístěny do magnetického pole. Informace pak mohou být přenášeny mimo vyšetřovací místnost na tablet v ovládací místnosti. Všechny naměřené hodnoty se zapisují do zátěžového protokolu (viz Příloha C).

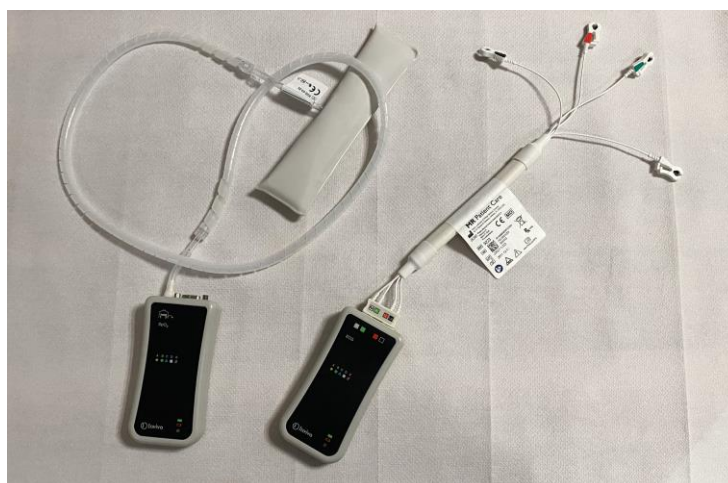
Před vstupem pacienta do prostor MR vyšetřovny radiologický asistent ověří, zda byl správně vyplněn a podepsán dotazník. Následně opět vyloučí možné kontraindikace, a to včetně vyloučení přítomnosti kovových předmětů na těle pacienta jako jsou hodinky, spony, řetízky a další.

Radiologický asistent pozve pacienta do vyšetřovací místnosti a uloží ho na vyšetřovací stůl. Ten by měl zaujmout co nejpohodlnější polohu vzhledem k délce trvání vyšetření. Poloha je v leže na zádech, horní končetiny jsou podél těla a dolní končetiny jsou podloženy klínem. Radiolog a radiologický asistent poučí pacienta o vyšetření. Po jeho celou dobu má nemocný v ruce signalizační zařízení, zvoneček, na který může v případě obtíží zazvonit.

Při přípravě pacienta jsou na jeho hrudník nalepeny čtyři hrudní elektrody (viz Obrázek 9). Ty jsou speciálně navrženy pro použití v magnetickém poli a jsou připojeny na EKG modul s bezdrátovým přenosem signálu (viz Obrázek 10). Pro sledování respiračních pohybů je také použit bezdrátový modul (viz Obrázek 10). Je umístěn do oblasti hrudníku. Pulzní oxymetr bývá součástí tohoto modulu.



**Obrázek 9 -** Pozice elektrod (Pleva, Ouředníček, 2012)



**Obrázek 10 -** Bezdrátový modul pro přenos respiračních pohybů a periferní pulzace vlevo, vpravo EKG modul s bezdrátovým přenosem signálu (vlastní tvorba autorky)

Rovněž radiologický asistent napojí injektor na periferní žilní kanylu. V případě použití adenosinu se napojí infuzní pumpa na intravenózní kanylu na druhé končetině. Výhodou je použití MR kompatibilní pumpy, kdy je možné minimalizovat délku infuzních hadiček. V případě, že MR kompatibilní pumpa není k dispozici (jako v našem případě), lze hadičky

nastavit a pumpu umístit mimo vyšetřovnu. V našem případě jde ale o 8 metrů hadiček, jejichž vnitřní objem je asi 16 ml. Toto je objemem nevyužitelné množství léčiva a přibližně odpovídá množství, které by vystačilo na jednoho pacienta. Na horní končetinu je nasazena manžeta pro měření krevního tlaku (TK). Při vyšetření s adenosinem se dává na končetinu, kam bude aplikována kontrastní látka (adenosin musí být podáván kontinuálně, jeho podávání by se měřením TK přerušilo) a v případě použití regadenosonu na končetinu bez intravenózního vstupu. Poté se na hrudník jedince přiloží tělová/břišní/srdeční cívka (viz Obrázek 11), dle vybavení pracoviště, která je fixována popruhy ke stolu. Má značný podíl na výsledné kvalitě snímku.



**Obrázek 11** - Srdeční cívky (Pleva, Ouředníček, 2012)

Pacientovi jsou nasazeny sluchátka či špunty do uší kvůli silnému hluku, které vydává magnetická rezonance během vyšetření. Stůl s vyšetřovaným poté zajede do gantry a následně se provede centrace lokalizačním laserovým paprskem, ten se centruje na značku na cívce. Je nutné dbát na oči pacienta, aby nedošlo k jejich poškození.

Během vyšetření jsou pacientovi dávány pokyny pomocí mikrofonu. Na začátku vyšetření se udělají hrubé skeny pro plánování. V základním protokolu jsou na začátku zhotoveny kinematické skeny v dlouhých osách srdce. Následuje zátěžová perfuze pro kterou se použije polovina z celkového množství kontrastní látky. Rychlost podání KL je 3 ml/s, poté se provede proplach fyziologickým roztokem. Při použití regadenosonu se po zátěžové perfuzi aplikuje dávka Syntophyllinu, cca 120 mg. Klidová perfuze se skenuje nejdříve 10 minut po prvním bolusu kontrastní látky. V tomto čase se skenují kina v krátké ose srdeční a průtoky ve velkých cévách. Následuje klidová perfuze a po dalších minimálně 5 minutách následují skeny pozdního sycení. Po celou dobu vyšetření je přítomný radiolog a kardiolog.

### **3.3 Nežádoucí účinky**

Při vyšetření je nutné hlásit nežádoucí účinky pro další průběh vyšetření.

#### **3.3.1 Regadenoson**

Regadenoson může způsobit hypotenzi, jenž vede k synkopě, ale i zvýšení krevního tlaku (hypertenzi), který vede k ischemii myokardu. Další možnou komplikací může být blokáda SA a AV uzlu, což vyžaduje okamžitý lékařský zásah, neboť může vést k sinusové bradykardii nebo k blokáde AV prvního, druhého nebo třetího stupně. Příznaky hypersenzitivity jako je kopřivka, vyrážka, angioedém či anafylaxe se mohou objevit okamžitě nebo opožděně. K zmírnění účinků může být podán aminofylin. (EMA, 2021) Výhodou je jednoduchost podání – jde o jednorázovou injekci, odpadá nutnost použití kontinuálního dávkovače. Další výhodou je rychlý nástup účinku. Oproti adenosinu je určitou nevýhodou poněkud delší čas eliminace.

#### **3.3.2 Adenosin**

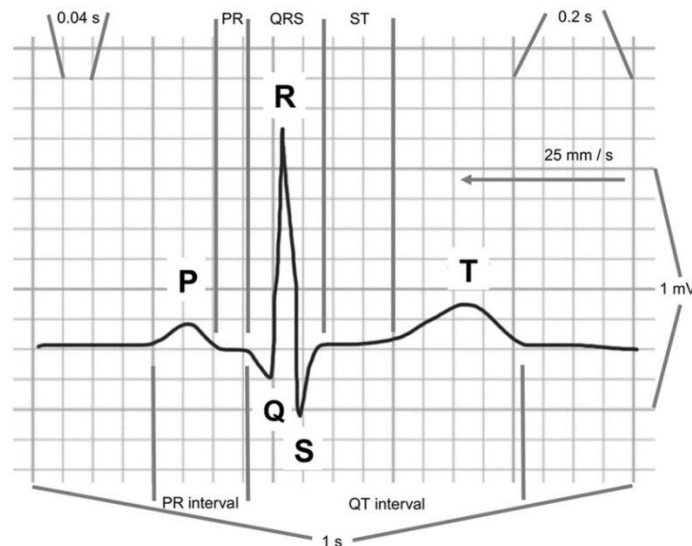
Adenosin též Adenocor může vést k hypotenzi, a proto je třeba být opatrný u pacientů s různými srdečními onemocněními, včetně stenóz srdečních chlopní a kmene levé koronární tepny či levopřavým zkratem dále například u osob s autonomní dysfunkcí. Adenosin se musí podávat opatrně u pacientů s těžkým srdečním selháním, s fibrilací, s flutterem síní a u osob, kteří nedávno prodělali infarkt myokardu. (SÚKL, 2021) Výhodou použití adenosinu je individuální dávkování, v případě komplikací jeho velmi rychlý poločas eliminace z radiologického hlediska, také příznak “splenic switch“ – jde o opožděnou postkontrastní opacifikaci sleziny, což je známkou účinného podání adenosinu, a tedy diagnostického testu. Nevýhodou je komplikovaná aplikace s nutností použití kontinuálního dávkovače.

### **3.4 Elektrokardiogram**

Elektrokardiogram je rychlá, neinvazivní metoda přenášející důležité informace o srdeční aktivitě. Zaznamenává změny elektrického potenciálu v průběhu srdečního cyklu. Jako vzpřímený signál je zaznamenáván impulz šířící se směrem k elektrodě. Impulz, který se šíří od elektrody je zaznamenáván jako invertovaný signál.

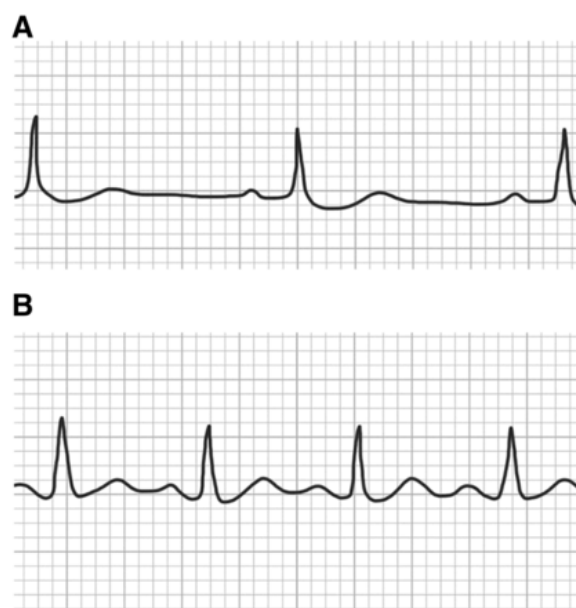
Elektrická aktivita normálního srdečního cyklu se skládá z vlny P, následována komplexem QRS, poté vlnou T (viz Obrázek 12). Vlna P je depolarizace síní. Jelikož síně mají malou svalovou hmotu, je vlna P malým signálem. Komplex QRS je depolarizace komor a je dominantním signálem EKG. Hmotu komor je velká. Vlna T představuje návrat komorové aktivity do klidového stavu tedy repolarizaci. PQ interval je dobou trvání od začátku P vlny do

začátku QRS komplexu, pohybuje se běžně od 120 do 200 ms. Běžná šířka komplexu QRS je menší než 100 ms. QT interval je od začátku komplexu QRS do konce T vlny a je menší než 440 ms. Úsek ST je období, kdy jsou komory depolarizovány, je od konce komplexu QRS do začátku vlny T. Cyklus od jedné ventrikulární kontrakce k další je R-R interval. (Colin et al., 2015)



**Obrázek 12** – Křivky na elektrokardiogramu (Colin et al., 2015)

Tepová frekvence neboli počet stahů srdce za jednotku času konkrétně za minutu. Normální tepová frekvence je okolo 60–100 (viz Obrázek 13). Při tachykardii je tepová frekvence vyšší než 100 tepů za minutu (viz Obrázek 13). Bradykardie je tepová frekvence nižší než 100 tepů za minutu.



**Obrázek 13** - (A) Normální sinusový rytmus, (B) sinusová tachykardie (Colin et al., 2015)

Elektrokardiogram můžou ovlivnit fyziologické a technické faktory. Může se lišit podle pohlaví, věku, výšky nebo taky hmotnosti. Z technického hlediska může být elektrokardiogram ovlivněn špatnou přípravou kůže nebo s nedostatečným kontaktem s kůží, což může snížit srdeční signál a zvýšit impedanci kůže. Dále může vzniknout šum či artefakty, jako je svalový třes, pohyb a elektrická interference.

Dysfunkce sinoatriálního uzlu vede ke zpomalení vedení impulsu nebo dokonce k zastavení sinoatriálního uzlu a je znám jako syndrom nemocného sinusu. Jeho variantou je bradykardie a tachykardie, při kterých se střídá pomalá a rychlá arytmie a je často spojená s ischemickou chorobou srdeční. (Colin et al., 2015)

### **3.4.1 EKG-gating**

#### **3.4.1.1 Retrospektivní EKG-gating**

Zobrazovací data jsou získávána kontinuálně během celého srdečního cyklu a jsou následně zpracovávána tak, aby byla zahrnuta každá srdeční fáze. To se provádí segmentováním dat z různých R-R intervalů a interpolací na průměrnou délku R-R intervalu, což se vypočte během rekonstrukce obrazu. Tento postup umožňuje zobrazit všechny fáze srdečního cyklu. Nicméně, u pacientů s arytmií s výraznými odchylkami R-R intervalu je retrospektivní gating (viz Obrázek 14) nezbytný pro přesné vyhodnocení funkce mitrální nebo trikuspidální chlopně. (Murphy, 2023)

#### **3.4.1.2 Prospektivní EKG-gating**

Po provedení odhadu počtu srdečních fází v rámci R-R intervalu se spouští sběr dat, ten je synchronizován s každou R-vlnou a ukončen po shromáždění údajů o odhadovaném počtu srdečních fází. Tento způsob sběru dat (viz Obrázek 14) umožňuje dosáhnout vysoké časové rozlišovací schopnosti a minimalizuje intervaly bez sběru dat. (Murphy, 2023)

## Gating



Obrázek 14 - Retrospektivní a prospektivní gating (Murphy, 2023)

### 3.5 Krevní tlak a jeho měření

Měření krevního tlaku během zátěžového vyšetření srdce je nutností pro kontrolu pacientova stavu. Krevní tlak je měřen během celého výkonu pomocí fyziologického monitoru neboli monitoru životních funkcí. Na horní končetinu je přiložena manžeta, nejčastěji je umístována do oblasti paže méně často na zápěstí. Ověření střední hodnoty arteriálního tlaku probíhá neinvazivní metodou, která se nazývá Oscilometrická metoda. Ta dopočítává hodnoty systolického a diastolického tlaku. Arteriální tlak je určen objemem vypuzovaným srdcem do tepen, elasticitou stěn tepen a rychlostí, kterou vytéká z tepen. Objem uvnitř cév napíná elastické stěny, vytváří tak zpětnou sílu, ta na základě elasticity vytváří tlak. (Magder, 2018)

Metoda je založena na změně tlaku v tepnách při proudění krve v srdci. Manžeta se nafoukne, a poté vyfoukne, měří se tlak uvnitř manžety. Výsledný tlak v manžetě stoupá a klesá, a také vykazuje malé oscilace, jenž indikují pulzující objem krve v brachiální tepně pod manžetou.

Krevní tlak je tlak, který srdce používá k pumpování krve do těla. Je důležitý, neboť by kyslík a živiny nebyly poháněny do oběhového systému, aby vyživovaly tkáně a orgány. Je i životně důležitý z důvodu dodávání bílých krvinek a protilátek pro imunitu a hormony jako je inzulin. Hodnoty krevního tlaku se skládají ze systolického a diastolického tlaku. Systolický tlak je tlak, kdy srdce pumpuje krev do žil. Diastolický tlak je tlak, kdy srdce je v klidu. Měří se v milimetrech rtuťového sloupce (mmHg). (Weatherspoon, 2022; NHS, 2022)

Jsou dány normy krevního tlaku (viz Tabulka 1). Normální krevní tlak je 120/80 mmHg. Vysoký krevní tlak neboli hypertenze je od 140/90 mmHg a výše. Často souvisí s nezdravým životním stylem, jako je nadváha, nedostatek pohybu či kouření. Pokud se vysoký krevní tlak



neléčí je větší riziko vzniku vážných dlouhodobých zdravotních stavů včetně ischemické choroby srdeční. Nízký krevní tlak neboli hypotenze je od 70/40 mmHg níže. Mohou ho způsobit některé léky, selhání srdce či dehydratace.

**Tabulka 1** - Normy krevního tlaku

<b>Krevní tlak</b>	<b>Systolický (v mmHg)</b>	<b>Diastolický (v mmHg)</b>
Extrémně nízký tlak	≤49	≤34
Velmi nízký tlak	50–69	35–39
Nízký tlak	70–89	40–59
Normální tlak – nižší	90–110	60–75
Optimální tlak	110–119	75–79
Normální tlak	120–129	80–84
Normální tlak – vyšší	130–139	85–89
Vysoký tlak – mírný	140–159	90–99
Vysoký tlak – středně závažný	160–179	100–109
Vysoký tlak – závažný	≥180	≥110

### 3.6 Tepová frekvence

Tepová frekvence udává počet tepů srdce za minutu. Snímání pulzu umožňuje zjistit jakou má pacient srdeční frekvenci, posoudí pravidelnost, sílu a charakter pulzu. Nepravidelný pulz může znamenat srdeční problém. Úzkost, bolest nebo třeba horečka můžou zvýšit pacientovi pulz, naopak některé léky ho můžou snižovat. TF se mění s věkem, i mezi jednotlivci stejného věku se může lišit. U dospělých jedinců starších 18 let je vhodná TF 60–100 tepů za minutu. (Pickering et al., 2013)

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

Pro potřeby výzkumu byla použita zdravotní dokumentace k analýze u pacientů s ischemickou chorobou srdeční. Úkolem je porovnání zátěžového vyšetření srdce pomocí dvou léčivých látek: adenosinu a regadenosonu. Dále hodnocení rozdílů mezi dvěma skupinami respondentů a zjištění jejich odlišností v tepové frekvenci, krevním tlaku a vedlejších účincích. A následné skutečnosti porovnat s literaturou.

Studie byla provedena na 30 respondentech, kteří podstoupili zátěžové vyšetření srdce na magnetické rezonanci pomocí farmakologické zátěže. Jednou ze zkoumaných látek byl adenosin konkrétně účinná látka Adenocor. Druhou zkoumanou látkou byl regadenoson, jehož účinná látka se nazývá Rapiscan. Hodnoty byly čerpány ze zdravotní dokumentace. Srovnávací hodnoty byly získány pomocí měření tepové frekvence, krevního tlaku a dle zdravotního stavu pacienta.

### **4.1 Hypotézy**

1. Farmakologická látka regadenoson bude vzhledem k vysoké selektivitě k adenosinovým A<sub>2A</sub> receptorům vykazovat menší změny celkových hemodynamických parametrů.
2. Rozdíly mezi danými látkami nejsou významné a nemají vliv na diagnostickou hodnotu vyšetření. (při úvaze, že jako nediagnosticské vyšetření je takové, kdy nejsou zaznamenány subjektivní symptomy po podání farmaka)
3. Data z bakalářské práce se shodují s literárními zdroji a potvrzují vhodnost použití účinných látek pro zátěžové vyšetření srdce na MR u pacientů s ICHS.

### **4.2 Charakteristika výzkumného souboru**

Výzkumný soubor tvořilo 30 respondentů. Ze všech 30 vyšetřovaných většinu tvořili muži, a to v počtu 22, žen bylo 8. V procentuálním zastoupení se jedná o 73,33 % mužů a 26,67 % žen. Věk zkoumaných respondentů se pohyboval v rozmezí od 39 roku života do 78 let.

### **4.3 Sběr dat**

Sběr dat probíhal jeden rok a dva měsíce, přesněji od 1. ledna 2022 do 28. února 2023. Výzkum byl realizován ve zdravotnickém zařízení na radiodiagnostickém oddělení magnetické rezonance. Sledovanou skupinou byli pacienti s podezřením na ICHS.

## 4.4 Analýza dat

Ze získaných dat byly zhotoveny tabulky pomocí programu Microsoft Excel. V programu Microsoft Word byla zaznamenána veškerá bakalářská práce.

## 4.5 Výsledek

Výzkumu se zúčastnilo 30 osob. Výsledky jsou znázorněny v následujících tabulkách.

### 4.5.1 Četnost respondentů

Do výzkumu bylo zapojeno 30 respondentů, jak již bylo výše zmíněno. Z toho bylo 8 žen, jenž činí 26,67 % a 22 mužů, což je 73,33 %. Dle Widimského et al. (2020, s. 4–6) v roce 2018 bylo 48,3 % pacientů z ICHS žen a 51,7 % mužů. Výsledky (viz Tabulka 2) poukazují, že bylo větší procento vyšetřovaných mužů než žen.

**Tabulka 2** - Četnost respondentů

Pohlaví	Absolutní četnost	Relativní četnost (%)
Ženské	8	26,67
Mužské	22	73,33
<b>Celkem</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Pro výpočet relativní četnosti pohlaví byla použita tabulka s celkovým počtem respondentů. Relativní četnost žen byla vypočtena jako podíl počtu žen a celkového počtu respondentů, následně byla vynásobena 100 procenty. Vzorec vypadá následovně:  $(8/30) \times 100 = 26,67 \%$ . Výpočet relativní četnosti mužů byl proveden obdobným způsobem, a to jako  $(22/30) \times 100 = 73,33 \%$ .

### 4.5.2 Věk respondentů

V rámci šetření bylo osloveno 30 účastníků, nejmladšímu bylo 39 a nejstaršímu 78 let. Riziko výskytu ICHS roste s věkem, jak vypovídají výzkumné tabulky (viz Tabulka 3), kde průměrný věk je 66,3. Na zátěžové vyšetření srdce chodí častěji starší osoby. Věk u mužů nad 45 let a u žen nad 55 let je považován za rizikový. Dle Widimského et al. (2020, s. 4–6) postihuje ICHS muže v průměrném věku 66 let a u žen je průměrný věk 71 let. Pacienti ve věkové skupině 45–64 roků mají riziko ICHS 5–7 % u žen a 4–7 % u mužů, věková skupina 65–84 roků činí 10–12 % rizika vzniku ICHS u žen a 12–14 % u mužů.

**Tabulka 3 - Věk respondentů**

Četnost		Věk	
	1		39
	1		51
	2		54
	1		55
	3		56
	1		62
	3		63
	1		67
	1		69
	3		70
	1		71
	4		73
	2		74
	2		75
	2		77
	2		78
<b>Celková četnost</b>	<b>30</b>	<b>Průměrný věk</b>	<b>66,3</b>

Pro výpočet průměrného věku respondentů byl použit vzorec: průměrný věk = součet věků / počet respondentů. Výpočet vypadá následovně:  $1989/30 = 66,3$ .

### 4.5.3 Tepová frekvence

Porovnání je založeno na měření tepové frekvence před podáním zátěžové farmakologické látky, tj. před zahájením a během zátěžového vyšetření u adenosinu a regadenosonu. Naměřené hodnoty byly zapsány do zátěžového protokolu (viz Příloha C). Následně byly vytvořeny tabulky v programu Microsoft Excel dle hodnot v zátěžovém protokolu. Celkové hodnoty vykazují, že tepová frekvence u regadenosonu je stabilnější v době před podáním farmakologické látky a v průběhu vyšetření, její celkový nárůst činí 17,43 % oproti adenosinu, kde je celkový nárůst tepové frekvence o 21,37 %. Dle Kamínka et al. (2013, s. 207-210) se též tepové frekvence zvyšují. „Je tomu tak zřejmě i díky tomu, že regadenoson aplikovaný jako 10sekundový bolus obsazuje adenosinové receptory velmi rychle“ (Kamínek et al., 2013, s. 210)

#### 4.5.3.1 Adenosin

Tepová frekvence v průběhu vyšetření u adenosinu narostla o 21,37 % oproti hodnotám před podáním zátěžové látky (viz Tabulka 4).

Tabulka 4 - Tepová frekvence u adenosinu

Respondenti	Tepová frekvence před podáním (tep/min.)	Tepová frekvence v průběhu vyšetření v největší zátěži (tep/min.)	Procentuální nárůst (%)
1.	50	70	40
2.	53	73	37,74
3.	62	80	29,03
4.	65	68	4,62
5.	66	80	21,21
6.	67	97	44,78
7.	67	73	8,96
8.	73	88	20,55
9.	75	100	33,33
10.	76	91	19,74
11.	82	89	8,54
12.	85	101	18,82
13.	90	100	11,11
14.	94	102	8,51
15.	95	108	13,68
<b>Průměrný procentuální nárůst (%)</b>			<b>21,37</b>

#### 4.5.3.2 Regadenoson

Tepová frekvence v průběhu vyšetření narostla o 17,43 % oproti tomu, jak byly naměřeny hodnoty před podáním zátěžové látky (viz Tabulka 5).

Tabulka 5 - Tepová frekvence u regadenosonu

Respondenti	Tepová frekvence před podáním (tep/min.)	Tepová frekvence v průběhu vyšetření v největší zátěži (tep/min.)	Procentuální nárůst (%)
1.	49	60	22,45
2.	54	72	33,33
3.	58	74	27,59
4.	62	70	12,9
5.	62	70	12,9
6.	63	76	20,63
7.	68	76	11,76
8.	70	70	0
9.	72	106	47,22

Respondenti	Tepová frekvence před podáním (tep/min.)	Tepová frekvence v průběhu vyšetření v největší zátěži (tep/min.)	Procentuální nárůst (%)
10.	75	84	12
11.	80	84	4,76
12.	80	88	10
13.	68	72	5,88
14.	58	70	20,69
15.	62	74	19,35
<b>Průměrný procentuální nárůst (%)</b>			<b>17,43</b>

Tepová frekvence byla uvedena pro každého respondenta zvlášť a následně byl vypočten procentuální nárůst. K výpočtu byla použita tabulka s hodnotami x a y, kde x představuje tepovou frekvenci v průběhu vyšetření v největší zátěži a y představuje tepovou frekvenci před podáním. Pro výpočet byl použit následující vzorec:  $(x-y)/y \times 100$ . Příklad výpočtu pro dané hodnoty  $x = 80$  a  $y = 66$  je následující:  $(80-66)/66 \times 100 = 21,21 \%$ . Tento postup byl použit jak pro adenosin, tak i pro regadenoson, kde byly následně vypočteny průměrné procentuální nárůsty. Pro výpočet průměrného procentuálního nárůstu byl použit následující vzorec: průměrný procentuální nárůst = součet procentuálních nárůstů / počet respondentů.

#### 4.5.4 Krevní tlak

Naměřené hodnoty byly zapsány do zátěžového protokolu (viz Příloha C), poté byly zhotoveny tabulky v programu Microsoft Excel. Porovnávány byly hodnoty před podáním zátěžové farmakologické látky, hodnoty během vyšetření a odlišnosti mezi dvěma účinnými látkami. Rozdíly krevního tlaku byly vypočítány jako rozdíl mezi středními arteriálními tlaky naměřenými v klidovém stavu a po podání léku. Celkové hodnoty, naměřené u respondentů udávají, že u regadenosonu (viz Tabulka 7) se krevní tlak snížil v průměru o 7,99 mmHg a u adenosinu o 10,98 mmHg (viz Tabulka 6). Gupta et al. (2016) uvádí, že též u adenosinu dochází k většímu poklesu krevního tlaku.

#### 4.5.4.1 Adenosin

Střední arteriální tlak před podáním zátěžové látky byl 109,62 mmHg a v průběhu vyšetření v největší zátěži činil 98,64 mmHg. Rozdíl před a po podání představuje 10,98 mmHg.

Tabulka 6 - Krevní tlak u adenosinu

Respondenti	Krevní tlak před podáním (mmHg)	Krevní tlak v průběhu vyšetření v největší zátěži (mmHg)	Střední arteriální tlak před podáním (mmHg)	Střední arteriální tlak v průběhu největší zátěže (mmHg)
1.	106/61	113/62	75,99	78,99
2.	126/82	117/53	96,66	74,33
3.	143/67	104/68	92,33	79,99
4.	144/80	142/76	101,33	97,99
5.	145/85	130/80	104,99	96,66
6.	152/104	157/99	119,99	118,33
7.	153/99	124/82	117	95,99
8.	154/75	117/72	101,33	87
9.	154/95	146/90	114,66	105,32
10.	161/93	164/85	115,66	111,32
11.	162/89	111/72	113,33	85
12.	174/80	143/90	111,33	107,66
13.	176/80	167/63	111,99	97,66
14.	179/95	152/90	122,99	110,66
15.	204/115	194/102	144,66	132,66
<b>Průměrný střední arteriální tlak (mmHg)</b>			109,62	98,64

#### 4.5.4.2 Regadenoson

Střední arteriální tlak naměřený před podáním zátěžové látky představoval 107,82 mmHg a v průběhu vyšetřování v největší zátěži byl 99,83 mmHg. Odlišnost před podáním a v průběhu vyšetření činí 7,99 mmHg.

**Tabulka 7 - Krevní tlak u regadenosonu**

Respondenti	Krevní tlak před podáním (mmHg)	Krevní tlak v průběhu vyšetření v největší zátěži (mmHg)	Střední arteriální tlak před podáním (mmHg)	Střední arteriální tlak v průběhu největší zátěže (mmHg)
1.	131/88	145/100	102,32	114,99
2.	150/100	160/87	116,66	111,33
3.	150/94	140/74	112,66	95,99
4.	137/75	109/61	95,66	76,99
5.	142/85	144/50	103,99	81,33
6.	170/95	178/104	119,99	128,66
7.	123/78	125/82	93	96,32
8.	156/80	142/74	105,33	96,66
9.	125/83	125/80	96,99	94,99
10.	173/84	157/83	113,66	107,66
11.	147/90	119/63	109	81,66
12.	101/68	122/82	78,99	95,32
13.	173/99	105/60	123,66	75
14.	190/109	176/107	135,99	129,99
15.	130/99	148/92	109,33	110,66
<b>Průměrný střední arteriální tlak (mmHg)</b>			107,82	99,83

Střední arteriální tlaky byly vypočteny pomocí tabulky nejprve před podáním a poté v průběhu největší zátěže. Byl použit následující vzorec:  $1/3$  hodnoty systolického tlaku +  $2/3$  hodnoty diastolického tlaku. Příklad kdy systolický tlak má 106 mmHg a diastolický tlak má 61 mmHg zní:  $1/3$  ze 106 (35,33) +  $2/3$  ze 61 (40,66) = 75,99 mmHg. Následně byly provedeny průměry středních arteriálních tlaků a rozdíl mezi nimi byl vypočten. Stejný postup byl použit jak pro adenosin, tak i pro regadenoson.



#### 4.5.5 Symptomy

Do zátěžového protokolu (viz Příloha C) byly zaznamenány symptomy respondentů, následně v programu Microsoft Excel byla zhotovena tabulka (viz Tabulka 8 a Tabulka 9). Příznaky, které se objevily se řadí do 4 skupin. Jedná se o mírné, střední, závažné projevy a další kategorií je skupina bez symptomů. Mezi mírné symptomy se uvádí dušnost, nauzea, návaly, bolest na hrudi či krku, bolest hlavy a ostatní. Středními se rozumí infuze předčasně ukončena bez nutnosti intervence. Nutný zásah je závažný symptom. Před vyšetřením, kdy byli respondenti poučeni o průběhu zákroku byli všichni bez známek nežádoucích účinků. Z tabulky vyplývá, že netrpěli středními ani závažnými příznaky. Výsledky jak u adenosinu, tak u regadenosonu byly shodné. Nejvíce respondentů mělo mírné projevy konkrétně 86,67 %, bez symptomů bylo 13,33 %.

**Tabulka 8** - Symptomy u adenosinu

Symptomy	Adenosin	Relativní četnost (%)
bez symptomů	2	13,33
mírné	13	86,67
střední	0	0
závažné	0	0
<b>Celkový počet</b>	15	
<b>Celkem (%)</b>		100

**Tabulka 9** - Symptomy u regadenosonu

Symptomy	Regadenoson	Relativní četnost (%)
bez symptomů	2	13,33
mírné	13	86,67
střední	0	0
závažné	0	0
<b>Celkový počet</b>	15	
<b>Celkem (%)</b>		100

Pro výpočet relativní četnosti symptomů byly použity hodnoty z tabulky, ve které byl pro každý symptom spočítán počet případů výskytu a celkový počet respondentů. Relativní četnost daného symptomu je pak určena jako počet případů výskytu symptomů dělená celkovým počtem respondentů vynásobena 100 procenty. Výpočty vypadají následovně:  $(2/15) \times 100 = 13,33\%$  a  $(13/15) \times 100 = 86,67\%$ . Tento postup platí jak pro adenosin, tak i pro regadenoson, kde byly stejné hodnoty.

## 4.6 Hodnocení výsledků

Celkově lze říci, že regadenoson dle zkoumání je vhodnější účinnou látkou. Na základě měření fyziologických funkcí a sledováním nežádoucích účinků na respondentech se došlo k tomuto výsledku. U adenosinu se zvýšil nárůst tepové frekvence, a to přesně o 21,37 % než tomu bylo u regadenosonu, kdy byl vzestup o 17,43 %. Tyto hodnoty potvrzují zjištěné studie dle Kamínka et al. (2013), což potvrdily i výsledky podle Gupta et al. (2016), kteří rovněž tvrdí, že regadenoson má menší vliv na zvyšování tepové frekvence. K většímu poklesu krevního tlaku došlo u adenosinu, kde byl rozdíl průměrné střední hodnoty arteriálních tlaků před podáním a v průběhu vyšetření 10,98 mmHg a 7,99 mmHg činil u regadenosonu, což potvrzuje Gupta et al (2016). Nežádoucí účinky u obou látek byly totožné. Dále výsledky literatury v souladu s Widimským et al. (2020) potvrzují, že ICHS je častější u starších pacientů a konkrétně větší procento tvoří muži.

## 5 DISKUZE

Hlavním bodem bakalářské práce bylo porovnat zátěžové vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou srdeční pomocí dvou účinných látek, a to adenosinu a regadenosonu. Následně porovnat jejich rozdíly, jak se liší fyziologické funkce a nežádoucí účinky. Cíle bakalářské práce byly splněny. Byly dosaženy vzhledem tomu, že se podařilo úspěšně porovnat účinnost adenosinu a regadenosonu pro zátěžové vyšetření srdce na MR u pacientů s ICHS. První hypotézou bylo, že farmakologická látka regadenoson bude mít méně výrazný vliv na celkové hemodynamické parametry. Výzkum tento předpoklad potvrdil. Pro její ověření bylo provedeno zátěžové vyšetření srdce na MR s použitím regadenosonu u skupiny nemocných s ischemickou chorobou srdeční a porovnáno s výsledky z vyšetření adenosinem. Během vyšetření byly měřeny krevní tlaky a tepové frekvence a naměřené hodnoty byly porovnány. Získané poznatky výzkumu potvrdily v souladu s očekáváním z literárních zdrojů, že adenosin navýší TF a TK bude výrazněji klesat než u regadenosonu. Vzhledem k tomu, že při použití regadenosonu nelze z obrazové dokumentace s jistotou zjistit, zda byl test diagnostický, bylo k ověření druhé hypotézy použito zjišťování subjektivních symptomů po podání farmaka u vyšetřovaných pacientů. V obou skupinách se počet pacientů, a tedy počet nedagnostických testů nelišil. Pro ověření třetí hypotézy byla provedena analýza dat z bakalářské práce a porovnána s výsledky získanými z literárních zdrojů. Závěry této analýzy ukázaly, že data z bakalářské práce se shodují s literaturou a potvrzují, že je regadenoson vhodnější látkou než adenosin.

V této práci byly použity literární zdroje a studie pro potvrzení výsledků dle Gupta et al. (2016), Kamínka et al. (2013) a Widimského et al. (2020). Literární podklady se shodují s bakalářskou prací o výhodnosti užití regadenosonu pro zátěžové vyšetření srdce na MR u pacientů s ICHS.

Vhodná farmakologická zátěžová látka by měla být cenově, a i co se týká výroby dostupná. Pro dosažení rychlého a selektivního nástupu vazodilatace koronárních tepen by ideální vazodilatační látka měla cílit na selektivní aktivaci A2A receptoru pomocí agonistů. Doba trvání účinku by měla být dostatečně dlouhá, aby látka mohla úplně způsobit vazodilataci koronárních tepen, a tím zlepšit průtok krve a dodávání kyslíku do srdečního svalu. Přitom je však důležité, aby trvání účinku bylo co nejkratší, aby nedocházelo k nadměrné vazodilataci a hypotenzi, které by mohly vést k nežádoucím účinkům. Proto je optimální, aby vazodilatační látka měla dostatečně dlouhé, ale zároveň, co nejkratší trvání účinku. Důležitou vlastností by mělo být také jednoduché podání například pomocí nezávislého bolusu na váze. Důležitým kritériem je co nejméně nežádoucích účinků, aby byla látka co nejbezpečnější pro pacienta.

Z výsledků výzkumu vyplývá, že regadenoson má lepší diagnostickou hodnotu než adenosin pro zátěžové vyšetření srdce na MR. Mezi jeho výhody patří snadné aplikování, rychlá tolerance, a to že nepotřebuje dávkování upravené podle hmotnosti jedince, protože počet adenosinových A<sub>2</sub>A receptorů v lidském těle je omezen a nezávisí na hmotnosti pacienta. Nicméně i adenosin má v některých ohledech výhody: krátký poločas rozpadu, rychle se vstřebává a metabolizuje v těle, jeho účinky jsou krátkodobé. Může být podán v kontinuální intravenózní infuzi, což umožňuje lépe kontrolovat a upravovat rychlost podání. Mezi jeho nevýhody patří nežádoucí vedlejší účinky. Adenosin není vhodný pro osoby užívající některé léky jako jsou teofylin a dipyridamol. I když je krátkodobý účinek výhodou, může být také nevýhodou, jelikož může vyvolat dočasný snížený průtok krve do srdce po delší dobu. Na druhé straně regadenoson má také své nevýhody. Jednou z nich je poměrně dlouhá doba poločasu rozpadu, což může způsobit dlouhodobější nežádoucí účinky. Není vhodný pro pacienty s některými zdravotními problémy jako jsou poruchy jater, zvýšený TK a těžká srdeční onemocnění. Celkově lze tedy říci, že je regadenoson vhodnější volbou pro zátěžové vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou srdeční. Nicméně i adenosin může být stále užitečnou látkou pro specifické případy.

Ve výzkumu bylo sledováno 30 respondentů. I přestože byl prováděn omezeně v podobě malého počtu respondentů, výsledky ukazují shodu s literárními zdroji a podporují důležitost dalšího sledování v této oblasti. V případě většího počtu zkoumaných pacientů by došlo k přesnějším a spolehlivějším výsledkům výzkumu. Případné porovnání s jiným zdravotnickým zařízením by mohlo zjištění poznatků navýšit. Silnými stránkami výzkumu ze zdravotní dokumentace jsou spolehlivost a objektivnost dat, ta jsou vedena systematicky a standartně. Na druhou stranu to může být i nevýhodou z nedostatku detailních informací o konkrétních faktorech. Mohou chybět některé klíčové údaje respondentů, například jejich životní styl či sociální okolnosti.

Výsledky bakalářské práce se shodují s literaturou, kde je dokázáno, že u adenosinu je větší nárůst tepové frekvence a vyšší klesání krevního tlaku před podáním a v průběhu vyšetření v porovnání s regadenosonem. Tyto výsledky mohou být vhodné pro praxi či potencionální budoucí výzkumy.

Pozitivní hodnocení celkové náplně práce je dáno vypořádáním se s hypotézami, které byly předem stanoveny a následně jejich zodpovězením a potvrzením. Dalším pozitivním

hodnocením je získání poznatků zkoumané problematiky, které mohou být přínosem pro další výzkumy. Teorie byla ověřena v praktické části, díky tomu byly cíle naplněny.

## 6 ZÁVĚR

Bakalářská práce je rozdělená na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsána anatomie a fyziologie srdce, dále je vysvětlena samotná problematika ischemické choroby srdeční včetně příznaků a příčin. Mimo jiné se teoretická část zabývá magnetickou rezonancí a zátěžovým vyšetřením srdce a jeho využití v diagnostice. Teoretické poznatky umožnily lépe porozumět základům výzkumu a přispěly k úspěšnému splnění cílů práce. V praktické části byl podrobně charakterizován průběh vyšetření včetně měření EKG, tepové frekvence a krevního tlaku. Poté byl popsán samostatný výkon a jeho úkolem bylo srovnání účinku adenosinu a regadenosonu na srdeční funkci při zátěžovém vyšetření na MR.

Práce úspěšně dosáhla stanovených cílů. Po analýze dat bylo zjištěno, že vhodnější farmakologickou látkou na zátěžovém vyšetření srdce na magnetické rezonanci u pacientů s ischemickou chorobou srdeční je regadenoson. Výsledky prokázaly nižší nárůst tepové frekvence a menší vliv na krevní tlak než u adenosinu. Výzkum se shoduje s literaturou, která již dříve naznačovala, že regadenoson je lepší volbou. Celkový výběr mezi adenosinem a regadenosonem je však závislý na konkrétních potřebách jedince a na rozhodnutí lékaře na základě individuálního posouzení každého případu.

Závěrečná práce přinesla několik přínosů pro kardiologii, radiologii, ale i pro pacienty. Mezi přínosy patří vylepšení diagnostických postupů. Ukázalo se, že regadenoson je vhodnější lék a může být, proto preferován při provádění zátěžových testů. Dalším přínosem může být zlepšení léčby u nemocných s ICHS, kterým bude podán regadenoson a dle výzkumů je lépe snášen pacienty. To může vést ke zlepšení prognózy a kvality života osob s tímto onemocněním, pro které je přínosné vyšetření na magnetické rezonanci z hlediska neionizujícího záření. Bakalářská práce může přispět k dalšímu výzkumu v této oblasti a poskytnout tak základ pro další studie.

## 7 POUŽITÉ ZDROJE

BERKOVÁ, Marie, 2002. Zátěžová dobutaminová echokardiografie u ischemické choroby srdeční – metodika, indikace, podmínky, postup a obecné zásady pro praxi. In.: *Internimedicina.cz* [online], Olomouc: I. interní klinika Fakultní nemocnice Olomouc. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2002/02/06.pdf>

BRUS, Jiří, KŘÍŽ, Jaroslav, 2006. Minulost a současnost NMR. Spektrometrie a pohled do nitra molekul člověka. In.: *Chemicke-listy.cz* [online], Praha: Ústav makromolekulární chemie AV ČR. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007\\_02\\_122-130.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_02_122-130.pdf)

BULAVA, Alan, 2017. *Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada, 224 s., ISBN 978-80-271-97.

COLIN T., G. M. CURRIE, D. GILMORE and H. KIAT, 2015. Electrocardiography: A Technologist's Guide to Interpretation. *Journal of Nuclear Medicine Technology* [online]. New York, dec;43(4):247-52 [cit. 2023-02-21]. ISSN 0091-4916. DOI: 10.2967/jnmt.115.163501.

EMA, 2021. Rapiscan, INN-regadenoson. In.: *Ema.europa.eu* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: [https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/rapiscan-epar-product-information\\_cs.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/rapiscan-epar-product-information_cs.pdf)

FIALA, Pavel, Jiří VALENTA a Lada EBERLOVÁ, 2015. *Stručná anatomie člověka*. Praha: Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, 244 s., ISBN 978-80-246-2693-2.

GUPTA, A. et al., 2016. A comparison of adenosine and regadenoson pharmacologic stress on noninvasive cardiovascular imaging in patients with known or suspected coronary artery disease. *Journal of Nuclear Cardiology*. 23(4), 776-785. ISSN 1071-3581.

KACHLÍK, David, 2015. *Anatomie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, 154 s., ISBN 978-80-246-4058-7.

KAMÍNEK, Milan, Iva METELKOVÁ et al., 2013. Regadenoson – selektivní A<sub>2A</sub> adenosin pro farmakologický zátěžový test v nukleární kardiologii. © 2001-2023 Solen s.r.o. [online]. *Solen*, 12(4): 207-210. [cit. 2023-03-26]. ISSN 1213-807X.

MAGDER, S., 2018. The meaning of blood pressure. *Critical Care* [online]. 22(1) [cit. 2023-03-21]. ISSN 1364-8535. DOI 10.1186/s13054-018-2171-1.

- MALÍKOVÁ, Hana et al., 2019. *Základy radiologie a zobrazovacích metod*. Praha: Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, 158 s., ISBN 978-80-246-4036-5.
- MEDTRON, 2021. The mobile, accurate contrast medium injector for MRI. In.: *Medtron.com* [online]. © MEDTRON AG [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.medtron.com/en/magnetresonanztomographie/acutron-mr/>
- MURPHY, Andrew, 2023. Cardiac Gating (MRI). In.: *Radiopaedia.org* [online]. © Radiopaedia.org [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://radiopaedia.org/articles/cardiac-gating-mri>
- NHS.UK, 2022. What is blood pressure? In.: *Nhs.uk* [online]. © Crown copyright [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.nhs.uk/common-health-questions/lifestyle/what-is-blood-pressure/>
- PICKERING, Dianne et al., 2013. How to measure the pulse. *Community Eye Health*. [online]. 26(82): 37 [cit. 2023-03-16]. PMID 24023407; PMCID PMC3756652.
- PLEVA, Martin a Petr OUŘEDNÍČEK, 2012. *MRI srdce – praktické využití z pohledu kardiologa*. Praha: Grada, 136 s., ISBN 978-80-247-3931-1.
- SEIDL, Zdeněk, Andrea BURGETOVÁ, Eva HOFFMANNOVÁ et al., 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 136 s., ISBN 978-80-247-4108-6.
- SÚKL, 2021. Adenocor - spc. In.: *Sukl.cz* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.sukl.cz/modules/medication/detail.php?code=0137238&tab=info>
- ŠPINAR, Jindřich, Jiří VÍTOVEC et al., 2003. *Ischemická choroba srdeční*. Praha: Grada, 364 s., ISBN 80-247-0500-1.
- VESELKA, Josef, 2009. *Ischemická choroba srdeční – základní informace pro pacienty*. Brno: Facta Medica, 43 s., ISBN 978-80-904260-4-7.
- WEATHERSPOON, Deborah, 2022. What is a normal blood pressure reading? In.: *Medicalnewstoday.com* [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/270644>
- WIDIMSKÝ, Petr et al., 2020. Chronická ischemická choroba srdeční (ICHS) – diagnostika a léčba. In.: *Kdp.uzis.cz* [online]. [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: <https://kdp.uzis.cz/res/guideline/10-chronicka-ischemicka-choroba-srdecni-diagnostika-lecba-final.pdf>



## **8 PŘÍLOHY**

Příloha A - Poučení a dotazník před vyšetřením magnetickou rezonancí .....	57
Příloha B – Doplnění poučení a dotazník pro vyšetření srdce magnetickou rezonancí .....	59
Příloha C - Zátěžový protokol .....	60
Příloha D - Rychlost podání adenosinu během zátěžového vyšetření srdce magnetickou rezonancí .....	61

## **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 žíly. 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:**

Kardiostimulátor (srdeční elektrody)	ano	ne	
Elektronické implantáty (kochleární, insulin. pumpa)	ano	ne	
Cévní svorky	ano	ne	Kde?.....
Chlopenní náhrady	ano	ne	
Cizí kovové těleso, střepiny (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:**

Alergii	ano	ne	Na co?.....
Klaustrofobii	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, (uvést důvod):**

**Kontraindikace vyšetření MR nebyly shledány.**

Zdravotnický pracovník, který provedl poučení a vyplnění:

Datum:

.....

## **Doplnění poučení a dotazník pro vyšetření srdce magnetickou rezonancí**

(tento dokument navazuje na obecné Poučení a dotazník před vyšetřením magnetickou rezonancí a je nedílnou součástí tohoto dokumentu)

**Jméno a příjmení vyšetřovaného:** .....

**Rodné číslo:** .....

Vážená paní, vážený pane,

vyšetření srdce obvykle trvá 45-60 minut a během vyšetření budete vyzváni, abyste se nehýbali a budete opakovaně požádáni o zadržení dechu na kratší dobu. Během vyšetření Vám bude monitorováno EKG, v případě zátěžového vyšetření i krevní tlak.

Ve většině případů vyžaduje vyšetření aplikaci kontrastní látky do žíly. V případě zátěžového srdce Vám bude do žíly aplikován adenosin, regadenoson či dobutamin. Tyto látky způsobují rozšíření zdravých koronárních (srdečních) tepen a po následném podání kontrastní látky jste schopni zhodnotit rozdíly v prokrvení srdeční svaloviny a ověřit tak významnost případného zúžení koronární tepny. Po podání těchto látek můžete pociťovat **dušnost, tlak na hrudi, bolest či motání hlavy**. U pacientů s epilepsií je riziko vyvolání epileptického záchvatu.

Při vyšetření obdržíte do ruky balónek a v případě, že by se zmíněné vedlejší účinky stupňovaly, bude po zmáčknutí balónku přivolán zdravotnický personál.

**24 hodin před vyšetřením je nutné vynechat nápoje s obsahem kofeinu (káva, čaj, Coca-Cola), čokoládu a léky s obsahem aminofylinu (např. Syntophyllin). Zátěžové vyšetření srdce se provádí na lačno, 4 hodiny (ranní léky lze užít a zapít malým množstvím tekutin).**

**Pro dobrý kontakt elektrod EKG s kůží prosíme muže o oholení levé poloviny hrudníku.**

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.

<b>Kofein vyloučen ze stravy 24 h (káva, čaj, kakao, čokoláda)</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
<b>Vysazeny léky (syntofylin, dipyridamol, sildenafil)</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
<b>Astma / CHOPN</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
<b>Epilepsie:</b>	<b>ano</b>	<b>ne</b>
<b>Užívané léky:</b>		

Svým podpisem stvrzuji, že výše uvedené údaje jsou pravdivé.

Datum: .....

Podpis pacienta:

Zdravotnický pracovník, který provedl poučení a vyplnění:

.....

.....

### Zátěžový protokol

adenosin     
  regadenoson     
  dobutamin viabilita     
  dobutamin zátěž

**I.v. podáno:**

adenosin max. dávka: ..... ug/kg/min  
 regadenoson dávka: ..... mg  
 dobutamin max. dávka: ..... ug/kg/min  
 aminofylin: ..... mg

Monitorace	TF /min.	TK mmHg	SpO2 %	poznámky
před podáním				
čas zahájení zátěže:				
1. min.				
2. min.				
3. min.				
4. min.				
5. min.				
6. min.				
čas ukončení zátěže:				
Po ukončení vyš.				

**Symptomy**

mírné		dušnost, nauzea, nával, bolesti na hrudi/v krku, bolesti hlavy, ostatní
střední		infuze předčasně ukončena bez nutnosti intervence
závažné		intervence nutná

Jméno lékaře a podpis .....

Pacient propuštěn v ..... hodin, v celkově dobrém stavu. Sestra: .....

**Rychlost podávání adenosinu během zátěžového vyšetření srdce  
magnetickou rezonancí**

**Jméno a příjmení vyšetřovaného:** ..... **Rodné číslo:** .....

Rychlost infuze ml/h při koncentraci 3mg/1ml a celkovém množství 150mg v 50ml F 1/1.

Váha (kg)	140ug/kg/min.	170ug/kg/min.	210ug/kg/min.
50	2.8	3.4	4.2
55	3.08	3.74	4.62
60	3.36	4.08	5.04
65	3.64	4.42	5.46
70	3.92	4.76	5.88
75	4.2	5.1	6.3
80	4.48	5.44	6.72
85	4.76	5.78	7.14
90	5.04	6.12	7.56
95	5.32	6.46	7.98
100	5.6	6.8	8.4
105	5.88	7.14	8.82
110	6.16	7.48	9.24
115	6.44	7.82	9.66
120	6.72	8.16	10.08
125	7	8.5	10.5
130	7.28	8.84	10.92
135	7.56	9.18	11.34

Jméno lékaře a podpis .....