

# **Materiály pro implantáty a chirurgické nástroje kompatibilní s magnetickou rezonancí**

Zuzana Brázdilová

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zuzana Brázdilová**

Osobní číslo: **T12335**

Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Materiály pro implantáty a chirurgické nástroje  
kompatibilní s magnetickou rezonancí**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte literární rešerši na zadané téma:

1. Popište problematiku použití magnetických materiálů při vyšetřeních a operacích pomocí magnetické rezonance.
2. Popište současný stav a možnosti polymerních a paramagnetických materiálů jako náhrada magnetických materiálů při magnetické rezonanci.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Schulz, T., Puccini, S., Schneider, J.-P., Kahn, T.; Interventional and intraoperative MR: Review and update of techniques and clinical experience; (2004) European Radiology, 14 (12), pp. 2212–2227. Cited 38 times.

White, M.J., Thornton, J.S., Hawkes, D.J., Hill, D.L.G., Kitchen, N., Mancini, L., McEvoy, A.W., Razavi, R., Wilson, S., Yousry, T., Keevil, S.F.; Design, operation, and safety of single-room interventional MRI suites: Practical experience from two centers; (2015) Journal of Magnetic Resonance Imaging, 41 (1), pp. 34–43.

Lipton, A., Safety in Magnetic Resonance Imaging; Society of Radiographers, ISBN: 1-871101-95-6, 2013

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.**  
Ústav inženýrství polymerů


Datum zadání bakalářské práce: **16. ledna 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2015**

ve Zlíně dne 2. března 2015

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....<sup>22.5.2015</sup>

*Zuzana Brázdilová*  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá náhradami magnetických materiálů, které nejsou použitelné při vyšetření nebo operaci za použití zobrazovací metody známé jako magnetická rezonance. Je zde nastíněna podstata vyšetření magnetickou rezonancí a operací prováděných s pomocí magnetické rezonance. Dále jsou zde popsány problémy vznikající přítomností magnetických materiálů v poli magnetické rezonance. V práci je také výčet a použití materiálů, které jsou používány jako náhrady magnetických materiálů, ze kterých jsou vyráběny chirurgické nástroje, vybavení operačních sálů a implantáty.

Klíčová slova:

magnetická rezonance, chirurgické nástroje, implantáty, polymerní materiály, titan

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis deals with substitution of magnetic materials which are not utilizable during investigation or surgery using imaging method known as magnetic resonance imaging. The principle of MRI is outlined including surgery in magnetic resonance area. There are also described problems encountered by the presence of magnetic materials in the field of magnetic resonance. The work is also focused on enumeration and use of materials, which can be used as a substitution of magnetic materials and which are frequently used as surgical instruments, operating room equipment, implants, etc.

Keywords:

magnetic resonance, surgical instruments, implants, polymeric materials, titanium

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lubomírovi Beníčkoví, PhD. za odborné vedení, poskytování cenných rad a připomínek. Děkuji za čas a ochotu, kterou mi po dobu zpracování bakalářské práce věnoval. Dále bych ráda poděkovala mé rodině za morální podporu a v neposlední řadě patří poděkování mému příteli za každodenní oporu, motivaci a pomoc během psaní práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně,

.....

Podpis studentky



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 MAGNETICKÁ REZONANCE</b> .....	<b>11</b>
1.1 POPIS MAGNETICKÉ REZONANCE .....	11
1.2 PRINCIP MAGNETICKÉ REZONANCE.....	11
1.3 VYŠETŘENÍ MAGNETICKOU REZONANCÍ .....	13
1.3.1 Před vyšetřením.....	13
1.3.2 Vyšetření magnetickou rezonancí .....	13
1.3.3 Po vyšetření .....	13
1.4 MOŽNOSTI MAGNETICKÉ REZONANCE .....	14
1.5 OMEZENÍ MAGNETICKÉ REZONANCE .....	14
<b>2 TĚLNÍ IMPLANTÁTY</b> .....	<b>15</b>
2.1 SRDEČNÍ STENTY .....	15
2.2 IMPLANTÁTY MOZKU NEBOLI NERVOVÉ .....	16
2.3 IMPLANTÁTY SMYSLOVÉ .....	16
2.4 IMPLANTÁTY SPINÁLNÍ.....	16
2.5 IMPLANTÁTY STIMULUJÍCÍ ORGÁNY .....	16
2.6 ZUBNÍ IMPLANTÁTY .....	17
2.7 KOSMETICKÉ IMPLANTÁTY.....	17
<b>3 NEBEZPEČÍ POHYBU A ZAHŘÍVÁNÍ MAGNETICKÝCH MATERIÁLŮ V POLI MR</b> .....	<b>18</b>
3.1 FEROMAGNETICKÉ MATERIÁLY .....	18
3.2 PARAMAGNETICKÉ MATERIÁLY.....	18
3.3 DIAMAGNETICKÉ MATERIÁLY .....	19
3.4 ZAHŘÍVÁNÍ MATERIÁLŮ V POLI MR .....	19
<b>4 INTRAOPERAČNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE</b> .....	<b>20</b>
4.1 TYPY IMRI .....	21
4.1.1 Otevřený systém s pevným magnetem / stacionárním pacientem.....	21
4.1.2 Systém pohyblivý magnet / stacionární pacient.....	21
4.1.3 Systém stacionární magnet / pohyblivý pacient.....	22
4.2 TECHNOLOGIE IMRI .....	22
4.3 BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ PŘI IMRI .....	24
4.4 BEZPEČNOSTNÍ ZÓNY MR .....	25
4.5 OBAVY TÝKAJÍCÍ SE IMRI.....	26
<b>5 MATERIÁLY KOMPATIBILNÍ S MAGNETICKOU REZONANCÍ</b> .....	<b>27</b>
5.1 POLYMERNÍ MATERIÁLY.....	28
5.1.1 Požadavky na plastové nástroje .....	28
5.1.2 Polystyren.....	30
5.1.3 Polyestery .....	30
5.1.3.1 Polybutylentereftalát.....	30
5.1.3.2 Polykarbonát .....	31
5.1.4 Polyvinylchlorid.....	31
5.1.5 Polymethylmetakrylát .....	31



5.1.6	Silikony .....	32
5.1.7	Hydrogel.....	33
5.1.8	Polysulfon .....	33
5.2	PARAMAGNETICKÉ MATERIÁLY.....	34
5.2.1	Titan .....	35
5.3	KERAMIKA .....	37
<b>6</b>	<b>PŘÍKLADY ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÝCH PŘI IMRI.....</b>	<b>38</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>47</b>

## ÚVOD

V posledních několika letech se v populaci stále více vyskytují nejrůznější nemoci. Pro jejich přesná rozpoznání, potřebná k určení správné léčby, se s postupem času vyvíjí různé druhy speciálních diagnostických přístrojů. Každé diagnostické zařízení může mít určitá omezení spojená s jeho provozem, kterým je třeba věnovat velkou pozornost, abychom dosáhli co nejpřesnějších výsledků měření a zároveň zajistili bezpečnost pacientů i personálu obsluhujícího dané zařízení.

Jedním z takových diagnostických přístrojů je magnetická rezonance, díky níž se v současnosti dá identifikovat celá řada onemocnění lidského organismu. Tato metoda vyšetření je velmi rozšířená například při diagnostice tumorů.

Vzhledem k omezení, které je s tímto vyšetřením spojeno, je velmi nutná absence jakýchkoliv magnetických materiálů během vyšetření magnetickou rezonancí. Tyto magnetické materiály totiž způsobují velké problémy a v blízkosti tohoto zařízení se během vyšetření stávají velmi nebezpečnými.

Při operacích prováděných za účelem odstranění nádoru, se vyskytovaly případy, kdy docházelo k pohybům tumoru, a tak byla resekce nekompletní. Z toho důvodu je magnetická rezonance zaváděna na operační sál, kde chirurgovi poskytuje aktuální snímky odstraňovaného tumoru. S tímto pokrokem vznikají další omezení, jelikož během operací se používají kovové neboli magnetické chirurgické nástroje a další zařízení, které jsou nezbytně nutná, ale při magnetické rezonanci velmi nebezpečná. Proto jsou kovy v medicíně postupně nahrazovány jinými nemagnetickými materiály, mezi něž patří především plasty, paramagnetické materiály nebo keramika.

Cílem této bakalářské práce je popsat problematiku magnetické rezonance ve spojitosti s použitím magnetických materiálů v poli magnetické rezonance, nastínění přehledu dostupných materiálových náhrad kompatibilních s magnetickou rezonancí místo těchto magnetických materiálů.

# 1 MAGNETICKÁ REZONANCE

Od roku 1986 je v klinické praxi zavedena magnetická rezonance (MR) neboli také nukleární magnetická rezonance. Oproti počítačové tomografii (CT) často poskytuje podrobnější informace vyšetření. Mezi nejdůležitější oblasti použití MR se řadí například neuroradiologie nebo ortopedie. [1, 2]

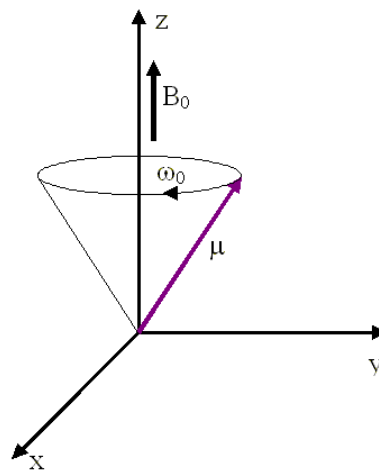
## 1.1 Popis magnetické rezonance

Metoda MR je velmi vyspělé vyšetření, jehož práce spočívá na využití vysoce silného magnetického pole a poskytuje zobrazování detailní struktury orgánů. Toto vyšetření není pro pacienta prokazatelně nebezpečné, jelikož nevyužívá rentgenové záření. Cena vyšetření magnetickou rezonancí se pohybuje v rozmezí 5000 až 10000 Kč. [1, 2, 3]

## 1.2 Princip magnetické rezonance

Hlavním předpokladem je fakt, že jako magnety se chovají ta jádra atomů, která obsahují lichý počet protonů. Nejvíce vyskytovaným atomem v lidském těle s takovýmto chováním je vodíkový atom s jedním protonem tedy s jednou kladně nabitou částicí. Proto se MR odvíjí právě od vodíkových atomů. [4]

Magnetický moment neboli spin protonů vodíkového jádra se vytváří jejich stálou rotací v jádrech. Spiny těchto atomů mají stejný směr jako osa otáčení protonu. Výsledná magnetická síla je však nulová v důsledku rotace vodíkových atomů nahodilými směry a následném vyrušení jejich spinů. Pohyb spinu po plášti pomyslného kužele je dalším pohybem, který jádro vodíku vykonává. Tento pohyb nazýváme precese. [4, 5]



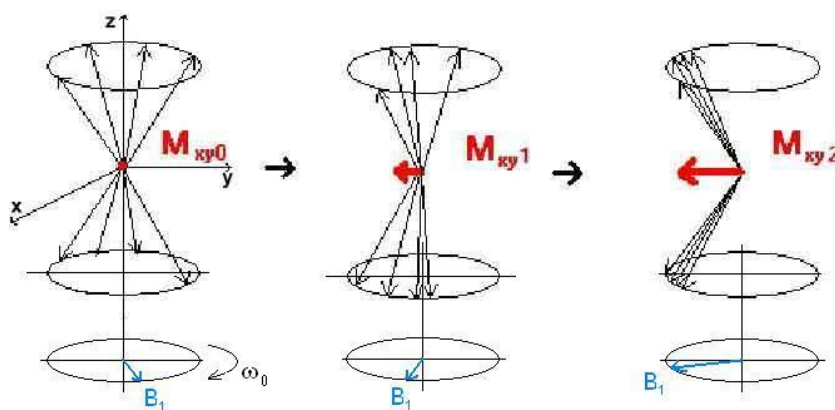
Obr. č. 1: Precesní pohyb. [5]

V takzvaném tunelu magnetické rezonance působí silné magnetické pole, jehož důsledkem dochází k orientování atomů vodíku v lidském těle. Na konci tohoto zorientování jsou spiny rovnoběžné se siločárami magnetického pole, jedná se o podélnou magnetizaci. Orientovány jsou buďto proti směru vnějšího magnetického pole, pak jsou to atomy ve vysokoenergetickém stavu (antiparalelní) nebo po směru vnějšího magnetického pole, tedy jsou v nízkoenergetickém stavu (paralelní). Všechny atomy paralelní i antiparalelní se přitom otáčejí se stejnou frekvencí, která se odvíjí od síly působícího magnetického pole a typu jádra atomu, který je vyjádřen gyromagnetickým poloměrem. Tato frekvence se označuje Larmorova frekvence. [4, 5]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \gamma B_0$$

**Obr. č. 2:** Vyjádření Larmorovy frekvence. [5]

Stejnou frekvenci jako precesní pohyb vodíkových atomů má elektromagnetické vlnění, které v tomto okamžiku přístroj vysílá do těla pacienta. Dochází k vzájemnému působení těchto dvou vlnění se stejnou frekvencí a tím k rezonanci. Při tomto ději přibývá atomům ve vysokoenergetickém stavu, jelikož atomy vodíku absorbují energii, která částečně vychyluje jejich precesní pohyb. Působením elektromagnetického impulsu také vykonávají všechny atomy pohyb naprosto totožně, tím se jejich spin vychýlí na jednu stranu pomyslného kuželu a vzniká příčná magnetizace. [4]



**Obr. č. 3:** Příčná magnetizace. [5]

Následuje relaxace, která vzniká při ukončení působení impulsu. V této fázi dochází při návratu atomů do původního stavu k vyzáření energie, kterou předtím přijaly, a právě touto

fází začíná měření. Zaznamenává se doba, po kterou se atomy s vyšší energií vracejí do svého původního stavu s energií nižší (podélná magnetizace) a doba, během níž dochází k opětovnému obnovení precesního pohybu atomů (příčná magnetizace).

Naměřené hodnoty jsou zpracovávány ve výkonném počítači do grafických podob. [5]

### **1.3 Vyšetření magnetickou rezonancí**

#### **1.3.1 Před vyšetřením**

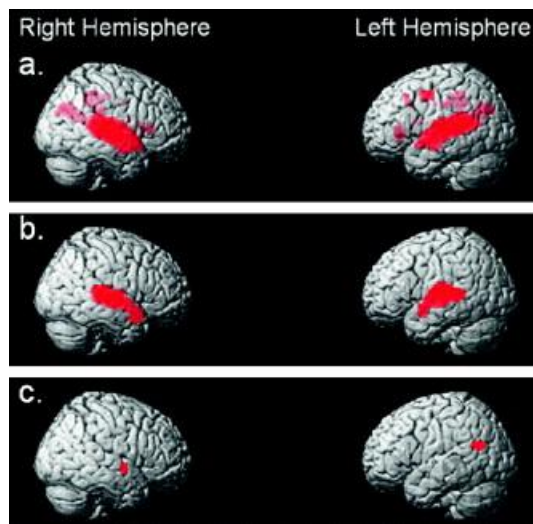
Samotné vyšetření nepožaduje žádná omezení pacienta. Je však důležité, aby nedošlo k přerušení vyšetření, proto může vyšetřovaný před vyšetřením jíst či pít v množství dle vlastní potřeby tak, aby během vyšetření nedošlo k jeho nadměrnému nebo nedostatečnému množství, které vede právě k přerušení vyšetření. Výjimkou jsou vyšetření v oblasti břicha, kdy je doporučeno nejíst a nepít přibližně dvě hodiny před vyšetřením. Dále je nutný podpis formuláře, ve kterém je osoba důkladně obeznámena se všemi informacemi, riziky a kontraindikacemi magnetické rezonance. Pacient je při vyšetření oblečen jen do určeného pláště a v žádném případě na sobě nemá žádné šperky. [3]

#### **1.3.2 Vyšetření magnetickou rezonancí**

Při vyšetření leží pacient na lůžku umístěném v tunelu neboli v prstenci přístroje a vyšetřovaná oblast bývá vždy umístěna ve středu přístroje. Kvůli nepříjemnému silnému zvuku se používají sluchátka s hudbou nebo ušní ucpávky. Osoba obsluhující přístroj je s pacientem v kontaktu mikrofonom a pacient má signalizační zařízení pro svoji bezpečnost, po celou dobu je navíc vše monitorováno kamerami. Důležitý je klid a nehybnost pacienta během celého vyšetření. Doba vyšetření je poměrně dlouhá a to obvykle 20-50 minut a odvíjí se od vyšetřované oblasti. [3]

#### **1.3.3 Po vyšetření**

Po vyšetření není pacient nijak omezen, pokud netrpí nevolností, může se ihned zapojit do svého programu. [3]



**Obr. č. 4:** Trojrozměrné vykreslení povrchu mozku pomocí MR při působení různých podnětů. [6]

#### 1.4 Možnosti magnetické rezonance

Rozdílné měkké tkáně vykazují různé intenzity signálu a díky tomu vznikají mnohem přesnější zobrazení. To je výhodou MR v porovnání s jinými zobrazovacími metodami. Další výhodou je také možnost realizace řezů v jakékoliv rovině bez nutnosti měnit polohu pacienta. [2, 3]

#### 1.5 Omezení magnetické rezonance

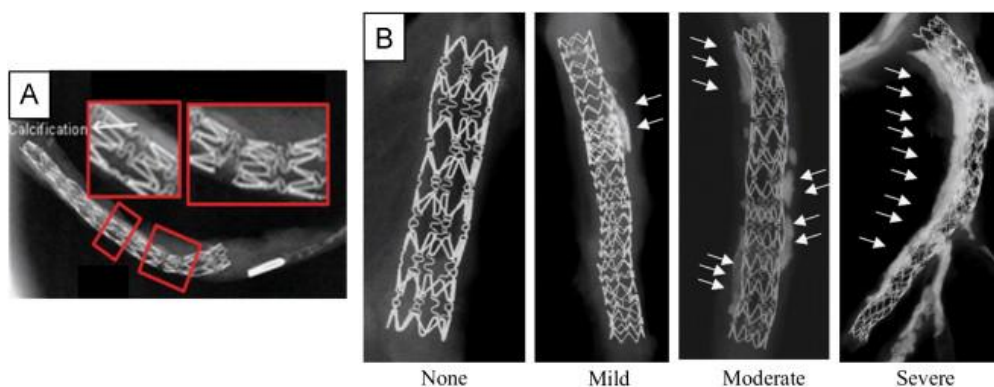
Vyšetření MR nemůže být provedeno v případě, že není známá anamnéza pacienta, jelikož striktní kontraindikací neboli překážkou MR je přítomnost kardiostimulátoru nebo kového magnetického materiálu (Fe, Ni, Co) v těle vyšetřovaného. Kovovými materiály zabraňujícími nebo omezujícími vyšetření jsou kovové svorky po operaci mozku, cév, kovové kloubní náhrady, výztuže cév neboli stenty, kochleární (ušní) implantát a další. Pouze v krajních případech je vyšetření povoleno v těhotenství. [2, 3]

## 2 TĚLNÍ IMPLANTÁTY

V dnešní době jsou do lidského těla vpravovány cizorodé látky z různých důvodů. Mezi tyto důvody patří většinou zdravotní stav nebo kosmetické úpravy. Mezi implantace patří i transplantace, v tomto případě ale jde o vložení čistě biologické látky. Existuje mnoho forem implantace a mezi nejčastější implantáty patří například náhrady menších částí lidského těla. Existuje možnost použití většiny zavedených implantátů u zvířat. [7]

### 2.1 Srdeční stenty

Tyto implantáty se rovněž nazývají koronární stenty a slouží k otevření zúžených a oslabených tepen, čímž se léčí infarkt a odstraňují se tak bolesti na hrudi. Stenty jsou drobné trubičky a vyrábí se z kovového pletiva. [8]



**Obr. č. 5:** Ukázky koronárních stentů (v části B zleva stent žádný, měkký, průměrný a těžký). [11]

Příkladem je zenitový stent neboli Z-stent. Tento stent vyrobený z nerezové oceli byl od roku 1996 do roku 2005 aplikován v jedné akademické instituci 550 pacientům. Těmto pacientům bylo vážně doporučeno, aby nepodstupovali vyšetření MR. I přesto se 22 pacientů po implantaci stentu vyšetření MR zúčastnilo. Z těchto dvaadvaceti lidí sedmnáct souhlasilo s jejich přezkoumáním a absolvovali MR v intervalu 669 dní od implantace. Jednalo se o 20 MR vyšetření, přesněji 10 vyšetření mozku a krku a 10 vyšetření břicha, páteře a pánve. Po následném porovnání rentgenových a CT snímků jednotlivých pacientů před a po MR, nebyla prokázána žádná změna struktury, funkce nebo pozice stentu během 899 dní po MR. Žádný z pacientů netrpěl příznaky jako bolest břicha nebo zad. MR tedy nemá žádné prokázané škodlivé patrné vlivy na Z-stent. [16]



## 2.2 Implantáty mozku neboli nervové

Neurostimulátory na mozku se používají pro zmírnění nemoci a silné bolesti například při Parkinsonově nemoci. [7]

## 2.3 Implantáty smyslové

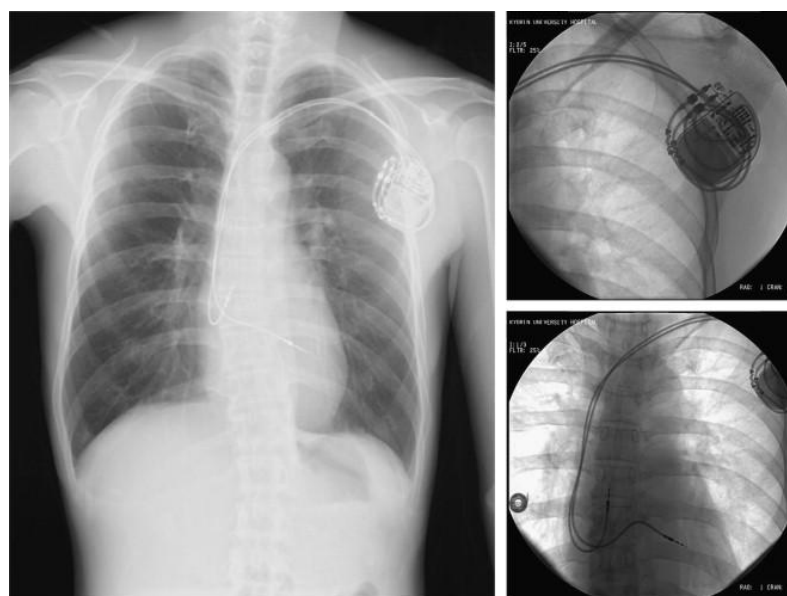
Mezi tyto implantáty patří náhrady očních částí nebo ušní neboli kochleární implantáty. Zajišťují přenos nebo zesílení smyslů. Kochleární implantáty pomáhají lidem slyšet, nejsou to však sluchadla, ale elektronická zařízení většinou o dvou částech malých rozměrů. Z těchto dvou částí je jedna část mimo zařízení, tato část převádí přicházející zvuk na elektrický signál, který následně odesílá do druhé části, která je operativně implantována do spánkové kosti a plní funkci přijímače přenášející signál do mozku. [9]

## 2.4 Implantáty spinální

Implantáty plní funkci náhrad chrupavek a kostí páteře. Jejich hlavní poslání je úleva od bolesti, posílení a stabilizace páteře. Spinální implantáty se dělí do několika skupin (pruty, šrouby, háčky, desky, klece). [7, 10]

## 2.5 Implantáty stimulující orgány

Mezi tyto implantáty se řadí především srdeční defibrilátory a kardiostimulátory, které zajišťují normální srdeční tep pacienta. [7]



Obr. č. 6: Implantovaný dvoukomorový kardiostimulátor. [12]

## 2.6 Zubní implantáty

V oblasti zubního lékařství jsou implantáty běžnou, každodenní a rutinní věcí. Mezi tyto implantáty řadíme například korunky, sloupky, čepice, zástrčky a v dnešní době se již nahrazují i celé zuby. [7]

Nabízí se otázka, zda například amalgámové zubní implantáty nepředstavují riziko při MR. Riziko pohybu stomatologických trvalých přišroubovaných, nebo nacementovaných implantátů není vzhledem k síle magnetického pole předpokládáno. Zanedbatelný je také ohřev těchto náhrad a jejich okolí, čímž jsou zuby, kosti a měkké tkáně. Zkreslování MR snímků způsobují feromagnetické materiály, které se ve stomatologii vyskytují ve formě příměsí ve slitinách. Za materiály kompatibilní s MR jsou tedy považovány dentální slitiny čistě z ušlechtilých kovů a čistý titan. Moderní dentální amalgám je slitina rtuti s dalšími kovy, jimiž jsou stříbro, měď, cín a další, proto je tento materiál kompatibilní s MR. [17]

## 2.7 Kosmetické implantáty

Do této oblasti patří veškeré implantáty aplikované pro zlepšení vzhledu nejčastěji plastickými chirurgy. Tyto implantáty dostávají mnoho pozornosti v důsledku implantování do viditelných částí těla. Velmi rozšířeným kosmetickým implantátem jsou například silikonové, tedy prsní implantáty. [7]

### 3 NEBEZPEČÍ POHYBU A ZAHŘÍVÁNÍ MAGNETICKÝCH MATERIÁLŮ V POLI MR

Základem pro kvalitní provedení MR je silné homogenní magnetické pole, radiofrekvenční (RF) impulsy a rychlé přechody magnetického pole. Vzhledem k těmto specifickým podmínkám je nutno zajistit správné stavební materiály, ovládání, stínění elektroniky a senzory. Velmi důležité je zajistit absenci materiálů, které se působením silného magnetického pole mohou například pohybovat v důsledku magnetických vlastností, což představuje velké riziko. Některé materiály silně ovlivňují homogenitu magnetického pole, takže jejich kontrola je také velmi důležitá. V případě umístění těchto látek do MR skeneru dochází ke značnému zkreslení obrazu. [1]

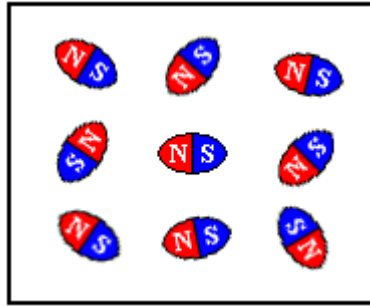
Podle reakce materiálů v magnetickém poli a magnetických vlastností se rozlišují tři typy: feromagnetické, paramagnetické a diamagnetické materiály. Magnetické vlastnosti látek určují elektrony. Jednotlivé elektrony se pohybují v atomech a tím tvoří elementární magnetická pole, ta se následně skládají a tak vzniká výsledné magnetické pole látky. [1, 14]

#### 3.1 Feromagnetické materiály

Elementární magnetická pole těchto látek se zcela neruší, skládají se do souhlasně zmagnetovaných sfér. Tyto látky velmi zesilují vnější magnetické pole a jsou do něj vtahovány. Tyto látky je velmi nebezpečné vkládat do pole MR, protože se chovají jako projektily a ohrožují jak pacienty, tak lékaře i samotný MR skener. Jednotlivé sféry těchto látek se po vložení do magnetického pole začnou uspořádávat tak, aby s ním elementární magnetická pole atomů souhlasila. Sféry nakonec mizí a látka je i po vytažení z magnetického pole trvale zmagnetována. Feromagnetické látky také narušují homogenitu magnetického pole, proto zkreslují obraz. Mezi feromagnetické látky patří železo, kobalt, nikl, jejich slitiny a další. [1, 14]

#### 3.2 Paramagnetické materiály

Elementární magnetická pole se částečně ruší. Atomy není možné vnějším magnetickým polem uspořádat do sfér jako u látek feromagnetických, kvůli tepelnému chaotickému pohybu částic, proto je zesilují jen slabě, takže jsou jím jen slabě přitahovány. Příkladem paramagnetických látek je hliník, platina, titan a korozivzdorné oceli. [1, 14]



Obr. č. 7: Znárodnění paramagnetické látky. [15]

### 3.3 Diamagnetické materiály

Elementární magnetické pole těchto látek se zcela ruší, takže je slabě zeslabují. Jsou od něj velmi slabě odpuzovány. Přítomnost těchto látek poblíž nebo uvnitř MR skeneru nenařušuje homogenitu vnějšího magnetického pole a nemá buďto žádný, nebo jen zcela malý a zanedbatelný vliv na kvalitu obrazu. Diamagnetické vlastnosti vykazuje zlato, stříbro, měď, rtuť, voda. [1, 14]

### 3.4 Zahřívání materiálů v poli MR

Ke zvyšování tepla v organismu zahříváním implantátu dochází zvýšeným kmitáním molekul v důsledku působení radiofrekvenčního záření. Toto vznikající teplo je rozváděno cévami, tedy zvýšeným průtokem krve. Proto jsou pro odstraňování tepla méně účinné bezcévné struktury. K žádným nežádoucím účinkům na zdraví nedochází, pokud se teplota celého těla během vyšetření MR nezvýší o více než 1 °C. Při zaměření na části těla se nevyskytnou nežádoucí účinky, pokud teplota v okolí hlavy nepřesáhne 38 °C, v okolí trupu 39 °C a v končetinách bude teplota nižší než 40 °C. [18]

## 4 INTRAOPERAČNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE

Intraoperační magnetická rezonance (IMRI z anglického názvu Intraoperative magnetic resonance imaging) je vysoce specializovaná technologie, která pomáhá určení přesného umístění nádoru. [19, 20]

Cílem chirurgické léčby mozkových nádorů je úplné odstranění nenormální tkáně a snížení rizika vyvolání trvalého neurologického poškození tkáně. [19]

Odstraňování nádorů pomocí IMRI je nejlepší variantou pro pacienty, u kterých byl nalezen intrakraniální nádor. [19]

Informace o velikosti a přesné poloze nádoru v lebce jsou neurochirurgovi běžně poskytovány výpočetní tomografií a předoperační MR. Problémem je, že po otevření lebky, nastává riziko posunutí odstraňované tkáně z původní pozice, tím se předoperační informace stávají nespolehlivými. Tento posun také zvyšuje riziko neúplného odstranění nádoru. [19, 20, 21]

Při těchto operacích je IMRI velkou výhodou. K případným posunům nádoru dochází po otevření lebky, proto se využívá IMRI, která poskytuje podrobnosti o poloze nádoru bezprostředně před resekci. Z toho důvodu se provádí menší řezy, které jsou šetrnější k pacientovi. Snímky během operace poskytují neurochirurgovi aktuální informace v reálném čase, které popisují přesné hranice nádoru. Ihned po dokončení odstranění tumoru se provádí kontrolní IMRI, která potvrzuje kompletní resekci nádoru nebo naopak. Tyto potvrzení vedou k minimalizaci hrozby další operace kvůli nedostatečnému odstranění. [19, 20]

Dále také při resekcích dochází k posunům mozku až o 1 centimetr, pokud je v lebce při jejím otevření přítomen například otok, který bývá důsledkem odvodu mozkomíšního moku během operace. Pro identifikaci komplikací vznikajících během operace slouží rovněž IMRI. Mezi takovéto komplikace patří například tvorba hematomu nebo krvácení mimo zorné operační pole. Pooperační MR pacienta také zbavuje rizika, spojeného s přepravou do vzdálené místnosti s MR. Během převozu pacienta totiž může dojít například k nestabilitě krevního tlaku v závislosti na fyzikálních vlastnostech krve a cév, extubaci neboli odstranění intubační kanyly z hrtanu. [19, 20]

Operace s IMRI se provádějí v sedmi krocích. Postup je následující:

- Předoperační vyšetření
- Provedení anestezie

- Důkladné polohování pacienta
- Neurochirurgický zákrok
- Pooperační vyšetření MR pro potvrzení úplné resekce nádoru, zatímco lebka je stále otevřená
- Uzavírání lebky a následné skončení anestezie
- Předání pacienta postanestetické jednotce [19]

## 4.1 Typy IMRI

V současné době v provozu existují tři typy IMRI systémů. Systém pevný magnet / stacionární pacient, stacionární magnet / pohyblivý pacient a pohyblivý magnet / stacionární pacient, přičemž první je založen na původním typu systému, tedy otevřeném systému. Každý z těchto typů má své klady i zápory. [20]

### 4.1.1 Otevřený systém s pevným magnetem / stacionárním pacientem

Tento typ systému IMRI je nejjednodušší pro získávání snímků během operace. V takovém systému se celá operace vykonává v silném magnetickém poli a pacient je po celou dobu umístěn v tunelu, což s sebou nese jistá rizika. První nepříjemností jsou omezení, která jsou kladena na nejrůznější používané zařízení z důvodu působícího magnetického pole. Proto nelze používat běžné klasické chirurgické nástroje, ale jejich MR kompatibilní verze, které jsou posuzovány jako méně kvalitní ve srovnání s běžnými nástroji. Druhým problémem je, že chirurg i anesteziolog mají k pacientovi umístěnému v tunelu velmi nedostatečný přístup. [20]

### 4.1.2 Systém pohyblivý magnet / stacionární pacient

Tento typ systému má především nahrazovat otevřený systém kvůli jeho velkým omezením. Systém pohyblivý magnet / stacionární pacient je nejčastěji používaný typ IMRI, který má mnohem méně nevýhod oproti původnímu typu systému. Jednu nevýhodu však tento systém má. Touto nevýhodou je, že při operacích s použitím tohoto systému se používají MR nekompatibilní chirurgické potřeby, proto může být pořízení snímků MR provedeno až poté, co je pacient umístěn do pohyblivého magnetu, což zapříčiňuje značné prodloužení celého procesu. Nespornou výhodou je zde dobrý přístup k pacientovi jak pro chirurga, tak pro anesteziologa a používání klasických nástrojů. [20]



**Obr. č. 8:** Znárodnění systému pohyblivý magnet / stacionární pacient. [20]

#### **4.1.3** Systém stacionární magnet / pohyblivý pacient

Tento systém je výhodami i nevýhodami velmi pohodlný systému pohyblivý magnet / stacionární pacient. Jedním rozdílem je, že v tomto systému je možné začlenit zobrazení s různým využitím do jediné operativní sady. [20]

### **4.2** Technologie IMRI

Jednou technologií je umístění jednotky MR skeneru mezi dvěma operačními sály za pohyblivou stěnou v samostatné místnosti. Při použití jednotky pro získání snímků MR se skener přemísťuje na operační sál. Takovou technologii mají například v Manitobě v Kanadě. Jejich IMRIS Neuro jednotka je funkcemi i designem velmi podobná klasickému přístroji MR, takže jednotka pacienta při snímání plně obklopuje. Chirurg má díky této technologii okamžité informace o rozsahu a úplnosti odstranění nádoru. Během používání tohoto typu snímání je nutné na operačním sále pracovat s MR kompatibilním zařízením a nástroji. [19]

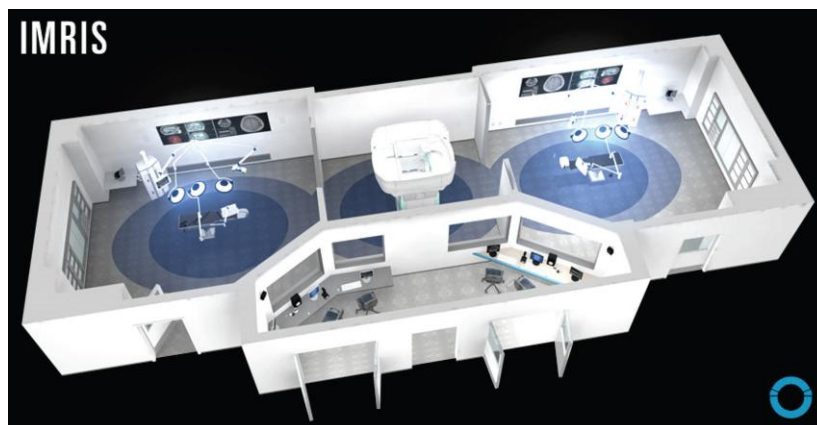
Druhou technologií je přenosná jednotka, přesněji docela malý a přenosný MR skener, který je určen pro použití výhradně na operačním sále. Toto zařízení vlastní například v Minnesotě v USA a velkou výhodou je dobrý přístup k pacientovi během operace. Užitečné z hlediska malé velikosti je, že magnet je umístěn v operačním stole po celou dobu operace, před pořízením MR snímků se MR skener umístí tak, že je pacientova hlava mezi dvěma magnety. Ve srovnání s předchozí technologií je tento typ skeneru možné použít i za přítomnosti klasických nástrojů a přístrojového vybavení jako například: běžně použí-



vané jehly, chirurgické nástroje a to z důvodu vytváření nižšího elektromagnetického pole. [19]

Vyhodnocování snímaných hodnot probíhá přes obrazovku a software počítače, který sjednocuje IMRI, počítačovou tomografii a hodnoty z neurochirurgického mikroskopu v reálný čtyřrozměrný obraz cílové oblasti jako je nádorová lebeční tkáň. Čtvrtým rozměrem je reálný čas, takže vzniklé snímky jsou okamžitou zpětnou vazbou pro neurochirurga a zdravotnický personál. [19]

Obě tyto technologie tedy pomáhají neurochirurgovi jasně určit, kde nádor začíná a kde končí přesným obrazem mozkového nádoru. Díky tomu je nádor zcela odstraněn ještě před uzavřením lebky a snižuje se riziko neúplné resekce nádorové tkáně, což je příčinou dalších operací. [19]



**Obr. č. 9:** Zobrazení MR skeneru v samostatné místnosti mezi dvěma operačními sály. [19]



**Obr. č. 10:** Přenosný MR skener určený pro operační sál. [19]

### 4.3 Bezpečnostní opatření při IMRI

Bezpečnostní opatření musí být dodržována vzhledem k velkému nebezpečí úrazu působením silného magnetu. Proškolením by měli projít všichni zaměstnanci, kteří přichází s IMRI do kontaktu v souvislosti s jeho provozem. Největší riziko IMRI vzniká při přítomnosti železných předmětů v oblasti 5-Gauss (zkráceně G), které jsou silně přitahovány k magnetu a mohou poškodit vše, co jim stojí v cestě k magnetu. Gauss je jednotkou magnetické indukce, která popisuje silové účinky magnetického pole na pohybující se částici s nábojem. Oblast 5-Gauss vyjadřuje obvod kolem MR skeneru, ve které je statické magnetické pole větší než 5 G. V úrovních 5-Gauss a méně je pro člověka působení statického magnetického pole bezpečné. [19, 20, 21]

Na operačním sále s IMRI jsou v ohrožení nejen pacienti, ale i všichni zaměstnanci, kteří mají implantáty. Působením magnetického pole může dojít k jejich vytlačení nebo selhání. Další možnou nepříjemností je zahřívání MR nekompatibilních materiálů nebo popáleniny související s vodivými smyčkami. Mimo operační sál musí být drženy všechny železné předměty, do místnosti nesmí být přineseny předměty jako mobilní telefony, peněženky, stetoskopy, vlásenky, nůžky, šperky a další. Veškeré materiály, u kterých není přesně známo, zda jsou bezpečné pro IMRI, musí být otestovány ručním magnetem. Dveře operačního sálu, musí být vždy po příchodu určené osoby zavřeny, nebo uzamčeny v případě, že nikdo z MR technologů není přítomen. [19, 21, 22]

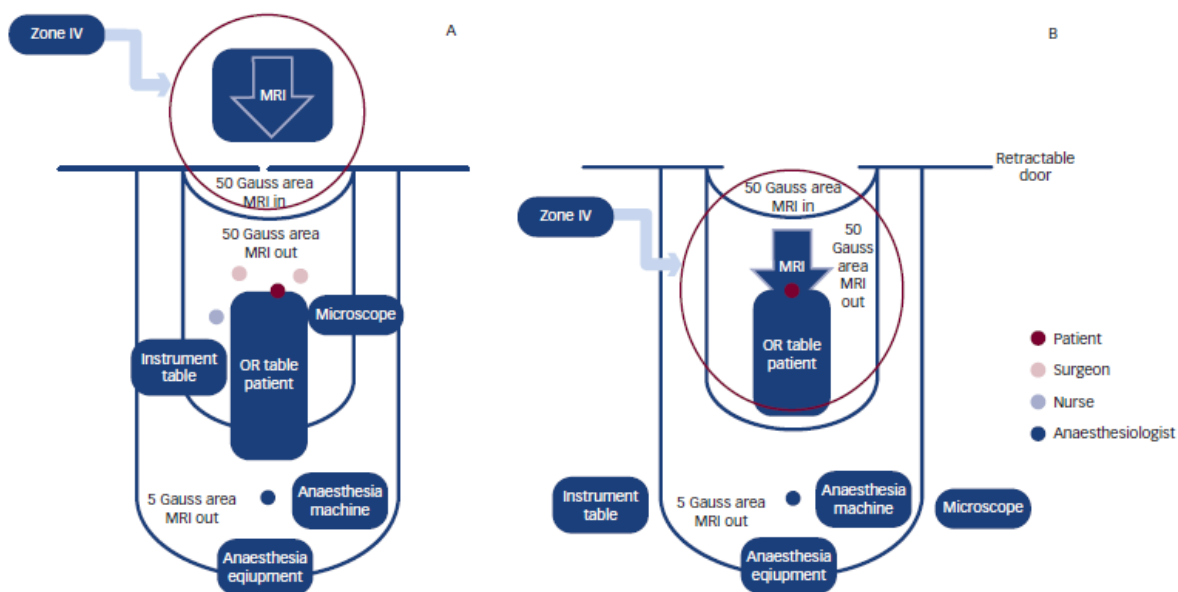
Na operačním sále při IMRI mohou být přítomny jen MR kompatibilní předměty a zařízení, mezi které patří anesteziologické přístroje, anesteziologický vozík, intubační zařízení, monitory, stožáry pro nitrožilní řešení a tělo ohříváčů. Všechny chirurgické nástroje musí být vyrobeny z titanu, keramiky, plastu, hliníku nebo velmi kvalitní nemagnetické oceli, která nekoroduje. [19, 22]

Od vyšetřovaných pacientů i celého personálu operačního sálu je nutné vždy zjistit, zda nejsou přítomny nějaké kontraindikace pro pořízení snímků pomocí IMRI. Všichni přítomní před vstupem na sál musí odložit šperky a odstranit je i z propíchnutých částí těla. Vstup na operační sál není dovolen osobám, které mají v těle implantát nebo kov, který nelze odebrat. Problémové jsou i tetování a permanentní make-up, protože v těchto místech může dojít k popálení. Příčiny těchto popálení nejsou přesně známá, ale předpokládá se, že jsou způsobeny kvůli kovovým složkám v některých pigmentech. V takových případech je nutné zhodnotit, zda převládá riziko komplikací nebo neprovedené IMRI. [19, 22]

Možnost popálení pacienta je zvyšována, pokud jsou kolem něj v poli MR ovinuty elektrické dráty nebo kabely. Kabely přenáší elektromagnetickou energii, která může vytvářet teplo, jímž dochází k popálení pacienta. Proto musí být všechny chirurgické kabely a polštářky umístěny mimo kůži pacienta. Možné popálení vyvolává také vytvoření smyčky v magnetickém poli, proto je nutné zabránit vzájemnému překládání kabelů přes sebe. [19]

#### 4.4 Bezpečnostní zóny MR

Bezpečnostní zóny jsou společné pro všechny MR prostředí. Proto je důležité pochopení tohoto pojmu, aby bylo možné docílit bezpečné péče o pacienty. MR oblast je rozdělena na čtyři zóny pro vytvoření společné hierarchie a zvýšení bezpečnosti tohoto prostředí. Toto rozdělení je důležité pro vytvoření postupů pro nejlepší péči o pacienta v různých okamžicích a reakcích pacienta v MR poli. [20]



**Obr. č. 11:** Zobrazení oblasti 5-Gauss za pohyblivou stěnou (A) a na operačním sále (B). [20]

Důležitá je zóna IV. Zóna IV je zóna magnetické rezonance, tedy oblast neboli místnost s otevřenými a stacionárními magnetickými systémy. Po přesunutí MR skeneru ze samostatné místnosti, se tato zóna vztahuje i na operační sál. Kolem magnetu MR v zóně IV je 5-Gauss oblast. Zóna IV je za pohyblivou stěnou v dostatečné vzdálenosti od operačního sálu (Obr. č. 11 - A). Po přemístění magnetu MR na operační sál se pacient nachází v IV zóně, ale ostatní zařízení jako mikroskop nebo chirurgické nástroje jsou přemístěny tak, že jsou mimo oblast 5-Gauss (Obr. č. 11 - B). [20]

## 4.5 Obavy týkající se IMRI

Kvůli možnému zranění až smrti, je zakázáno vstupovat do prostředí MR lidem, kteří mají implantovány kardiostimulátory nebo defibrilátory. Existují i další sporné zařízení, mezi něž patří například kochleární implantát. [20, 22]

Pro udržování stále teploty v místnosti s MR se musí magnet ochlazovat, čímž se optimalizuje magnetické pole. Toto ochlazování magnetu se provádí pomocí kapalného helia nebo dusíku. Toto chladné prostředí je velmi nevhodné pro malé děti, především novorozence, kteří mají jen malou schopnost samostatného regulování teploty. Tato schopnost termoregulace je omezená především v anestezii. Pro předcházení hypotermii neboli podchlazení se používají horkovzdušné ohříváče nebo ohříváče tekutin, které zajišťují normální teplotu v prostředí MR. Při samotném zobrazování pomocí MR, kdy je pacient umístěn v zóně IV., musí být činnost těchto zařízení přerušena, protože jsou v prostředí MR nebezpečná. Pro zajištění sterility a stálé teploty během zobrazování je doporučeno používat sterilní závěsy. [20, 22]

Omezujícím faktorem při IMRI je velikost otvoru magnetu, je totiž nutné správné stanovení meze velikosti pacientů, pro kterého je bezpečné podstoupení IMRI zobrazení. Velikost otvorů magnetů je různá, proto je velmi důležitý fakt, že pacient, který bez problémů svou velikostí zapadá do otvorů magnetů diagnostických zařízení MR, nemusí nutně zapadat do otvorů magnetů IMRI. Dalšími omezeními v této problematice jsou sterilní závěsy nebo chirurgické pomůcky pro přesné polohování hlavy. Proleženiny nebo stlačení periferních neboli okrajových nervů může vést k přímému kontaktu kůže s operačním stolem, vnitřním prostorem otvoru magnetu nebo zobrazovacími cívkami. Pravděpodobnost tohoto kontaktu snižuje polstrování zeslabující působení tlakových bodů. Z hlediska všech těchto rizik je dobré mít šablonu velikosti otvoru magnetu IMRI, pro zjištění správné velikosti pacienta ještě před samotným vyšetřením. [20, 22]

Další obavou do budoucna pro MR je vyčerpání využitelného množství helia na Zemi, které je nezbytné pro chlazení magnetu, čímž se dosahuje stability magnetického pole. Vědci proto v současnosti pracují na vytvoření MR systémů, v nichž je chlazení magnetu na dané teploty prováděno bez použití helia. [20]

## 5 MATERIÁLY KOMPATIBILNÍ S MAGNETICKOU REZONANCÍ

Magnetická rezonance je společností chápána jako bezpečná zobrazovací technika, jelikož při jejím praktikování nedochází k působení ionizujícího záření ani žádného jiného biologicky nebezpečného efektu na okolí. Nicméně MR představuje jiná, sobě specifická nebezpečí, mezi něž patří například působení velmi silného magnetického pole na feromagnetické materiály, což způsobuje, že se chovají podobně jako projektily a hrozí tak nebezpečí vážného poranění všech přítomných osob a poškození okolních zařízení. Dalším rizikem je poškození sluchu zapříčiněné vysokou akustickou hlučností při provádění MR nebo tepelné změny materiálů v důsledku radiofrekvenčního záření a následné zvyšování teploty v těle pacienta. V případě, že nejsou vytvořena vhodná bezpečnostní opatření proti těmto rizikům, hrozí pacientům a personálu lehká, střední až vážná zranění, ale jsou vystaveni i nebezpečí úmrtí. [22]

Především první z problémů je způsoben přítomností a používáním materiálů nekompatibilních s MR, kterými jsou feromagnetické látky. Proto je velmi důležité dodržovat určitá pravidla a bezpečnostní opatření týkající se používání materiálů kompatibilních s MR. Základním principem bezpečnosti MR je odstranění feromagnetických předmětů z určené oblasti kolem MR skeneru. V běžné výzkumné a diagnostické MR je bezpečnost jednoduše zajištěna odstraněním těchto předmětů z místnosti, ve které se MR používá. Složitější situace nastává při IMRI, kde se této bezpečnosti dosahuje hůře kvůli potřebnému vybavení. V těchto případech se rizika minimalizují kombinací designu jednotky, výběrem a umístěním používaných zařízení a nástrojů, vyškolení zaměstnanců a dodržováním bezpečných pracovních postupů. Například místo nástrojů z feromagnetických látek se používají nástroje z MR kompatibilních materiálů, mezi něž patří například titan nebo polymerní materiály. [22]

Kompatibilitu s MR nesplňují také elektricky vodivé materiály, které způsobují popáleniny při jejich kontaktu s pacientem v průběhu MR snímání. V místnosti IMRI jsou přítomny také důležitá elektrická zařízení, jejichž provozem může vznikat šum v RF při MR snímání a zhoršují kvalitu získaného obrazu. Tato zařízení jsou MR kompatibilní, pokud jsou vzhledem k MR skeneru správně umístěna, tedy umístěna podle stanovených bezpečnostních protokolů. [22]

## 5.1 Polymerní materiály

V současné době jsou v medicíně kovové materiály stále ve větší míře nahrazovány materiály plastovými. Kovové nástroje a součástky jsou cenově náročné na výrobu, údržbu i sterilizaci. Proto se mnoho firem snaží snížit náklady na kovové chirurgické nástroje, což vede k jejich nahrazování nástroji plastovými. Plastové nástroje a součástky mají mnoho výhod. Výrobky z plastu v porovnání s těmi kovovými jsou vyráběny za nižší cenu a ve dvou variantách a to buďto výrobky na jedno použití nebo opakovaně použitelné. [23]

### 5.1.1 Požadavky na plastové nástroje

Plastové výrobky jsou lehké a výroba umožňuje jejich barevné rozlišení. Před samotnou výrobou je nutné určení materiálu a designu pro výsledný produkt. Prvním krokem však je rozhodnutí, zda bude výsledný nástroj určený pro jedno použití nebo znovu použitelný, protože na tyto dva typy nástrojů jsou kladeny zcela odlišné materiálové požadavky. Podstatou znovu použitelných nástrojů je jejich opakovaná sterilizace, která je u těchto produktů nejčastěji prováděna parou. Z těchto důvodů se na výrobu těchto nástrojů volí plastové materiály, u kterých je možnost autoklávování, avšak tyto materiály jsou mnohem dražší než materiály na výrobu nástrojů určených na jedno použití. [23, 24]

Jednorázové nástroje a zařízení jsou mnohem méně nákladné a mají méně omezující požadavky na materiály, z kterých jsou vyrobeny. Tyto nástroje se vyrábí tvářením, po kterém se provádí čištění ultrazvukem nebo gama ozařováním. [23, 24]

Zdravotnické přístroje musí dále splňovat požadavky na odolnost proti nárazu a dostatečnou pevnost, což je dalším omezujícím faktorem, pro výběr vhodného materiálu. Podle požadovaných vlastností je možné pro různé části nástroje zvolit různé typy materiálů. Například velkou výhodou polymerních materiálů odolných vůči nárazu je jejich průhlednost. Průhlednost chirurgických nástrojů poskytuje chirurgovi možnost během operace vidět i prostřednictvím těchto materiálů. U těchto průhledných či průsvitných polymerů je riziko zbarvení, které vzniká gama záření během sterilizace materiálu. Proto je velmi důležitá volba plastu pro dosažení požadovaných výsledků. [23, 24]

Výhodou plastových nástrojů je také možnost barevného odlišení. Toto barevné kódování jednotlivých chirurgických nástrojů je užitečné například pro jejich rozlišení, lepší a rychlejší identifikaci chirurgem i personálem operačního sálu. [23]

Je nutné, aby všechny polymery pro biomedicínské prostředky byly dostatečně stabilní a negativně neovlivňovaly normální fyziologické prostředí pacienta. Dále nesmí tyto polymery včetně přísad a produktů rozpadu vykazovat toxické, dráždivé a alergické vlastnosti. V mnoha biomedicínských aplikacích, včetně šicích materiálů a některých systémů pro podávání léků, jsou potřebné systémy polymerů s velmi specifickými vlastnostmi. Mezi tyto specifické vlastnosti patří například biodegradace neboli rozklad látek působením biologických činitelů nebo schopnost difúze v membránách. [21, 24]

Velké množství polymerních zařízení přichází do kontaktu s krví v kardiovaskulárním systému, nebo třeba při hemodialýze. U těchto polymerů je velmi důležitá jejich kompatibilita s krví. Na výrobu náhrad částí srdce se nejčastěji volí materiály jako polyvinylchlorid (PVC), silikonové kaučuky nebo polyuretany, protože nejlépe splňují požadavky na materiál určený k této aplikaci. Hemodialýzu neboli odstraňování odpadních látek a nadbytečné vody z krve přes polymerní polopropustnou membránu zajišťuje v organismu umělá ledvina. Nejvhodnějším a nejčastěji voleným materiálem pro výrobu dialyzační trubice je PVC, používané membrány se vyrábí z celulózy nebo jejich derivátů. [21, 24]

Další velkou skupinou polymerů pro biomedicínské aplikace jsou materiály, z nichž se vyrábí implantáty a zařízení, která nepřichází do přímého kontaktu s krví. Těchto materiálů se netýká problematika kompatibility s krví, ale mají jiné specifické problémy a požadavky. Polymery používané na výrobu obvazů pro ošetření ran, nebo pro použití jako umělá kůže, jsou propustné a přizpůsobivé přírodní kůži. Materiály musí vykazovat tyto vlastnosti po delší časové období. Umělé polymerní obvazy se vyrábí ze silikonů, polyuretanů nebo PVC. Jsou to tenkovrstvé folie, jejichž vnitřní strana je potažena syntetickým lepidlem, které dobře drží na suché pokožce v okolí rány. V poslední době jsou studovány a testovány přírodní polymery jako kolagen, kyselina hyaluronová, fibrin a fibronectin za účelem jejich použití jako obvazů kožních ran. Tato přicházející nová řešení jsou prospěšná pro vývoj lékařských technologií. [21]

Polymerní materiály jsou v medicíně a chirurgii velmi rozšířeným materiálem. Využívají se na výrobu nejrůznějších zařízení, od chirurgických obvazů, šicích materiálů, injekčních stříkaček, katétrů, přes srdeční chlopně a šlachy až po umělé srdce, plíci či ledvinu. [21, 23]



### 5.1.2 Polystyren

Jedná se o nejjednodušší látku na bázi styrenu. Polystyren v čistém stavu je pevný, bezbarvý a tvrdý plast, který má omezenou přizpůsobivost. Vyskytuje se v průhledném stavu, nebo je během výroby různě barven. Používá se nejen ve zdravotnictví a to například na výrobu plastových modelů ke skládání, plastových přístrojů a dalších běžně používaných předmětů. [24]

U polystyrenu se nedoporučuje sterilizace parou v autoklávu, protože hrozí pokřivení a zdeformování výrobku. Polystyren obsahuje ve velké míře aromatické sloučeniny, proto je nejvíce odolný vůči gama záření a tato metoda sterilizace je pro něj nejvhodnější. [24]

Nejčastějším využitím polystyrenu je laboratorní nádobí, jednorázové Petriho misky, baňky, pipety a další zdravotnické přístroje. [24]

### 5.1.3 Polyestery

Polyestery jsou polymery vznikající z dikarboxylové kyseliny a dialkoholu za současného uvolnění vody. Jsou to polyesterové pryskyřice s příměsí skleněných vláken, které materiálu propůjčují vysokou pevnost, chemickou odolnost a další dobré vlastnosti, jsou materiály s výbornými mechanickými vlastnostmi. Takovým materiálem je například polykarbonát, polybutylentereftalát nebo polyetylentereftalát, které jsou nejznámější z celé skupiny polyesterů. Do polyesterů patří také kapalné krystalické polymery. [24]

Kapalné krystalické polymery se vyskytují v podobě sterilizovatelných podnosů, chirurgických a zubních nástrojů, kanyl. [24]

#### 5.1.3.1 Polybutylentereftalát

Polybutylentereftalát je polyester odvozený od kyseliny tereftalové, proto je možné ho sterilizovat pomocí gama záření, protože obsahuje aromatická jádra. Stejně jako všechny ostatní polyestery se sterilizují také etylenoxidem. [24]

Polybutylentereftalát je vhodným materiálem pro výrobu dentálních nástrojů, držáků skalpelů, obalových materiálů. [24]

### 5.1.3.2 Polykarbonát

Polykarbonát je typ polyesteru s výbornými vlastnostmi. Mezi tyto vlastnosti patří odolnost proti nárazu, praktická nerozbitnost, vysoká tepelná odolnost, vysoká jasnost a odolnost proti UV záření, která výrazně rozšiřuje možnosti aplikací polykarbonátu. [24]

Polykarbonát je oproti jiným polymerům mnohem odolnější proti gama záření, díky přítomnosti aromatických sloučenin v řetězci a díky vysoké hustotě, kterou řetězec polykarbonátu vykazuje. S opakovanými sterilizacemi však postupně dochází ke žloutnutí polykarbonátu. Polykarbonáty mohou být sterilizovány také etylenoxidem a nevykazují žádné změny až do padesátého opakování sterilizace. [24]

Polykarbonáty jsou materiálem pro výrobu lékařských přístrojů, tepen, kanyl, vysokotlakých stříkaček, chirurgických rukojetí a krytů zařízení, inzulínových per. [24]

### 5.1.4 Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid (PVC) je chemicky nereaktivní pružný nebo tuhý materiál. Obrábění tuhého PVC se provádí několika způsoby, mezi ně patří svařování nebo obrábění pomocí klasických kovových pracovních nástrojů. K PVC se přidávají příměsi, čímž vzniká mnoho materiálů založených na PVC s různými vlastnostmi. Tuhé PVC má tři kategorie, tedy PVC typu I, typu II a CPVC. PVC typu I je oproti typu II chemicky odolnější, CPVC zase vykazuje nejvyšší teplotní odolnost. Aplikace PVC jsou různorodé a je to nejrozšířenější plastový materiál ve zdravotnictví. To je způsobeno jeho nízkou cenou, snadným zpracováním a samozřejmě možností přizpůsobení vlastností přidáváním příměsí, což umožňuje jeho rozmanité uplatnění. [24]

Nejlepší metodou pro sterilizaci PVC je sterilizace pomocí etylenoxidu. [24]

Měkčené PVC se využívá na obaly, trubičky pro transport tekutin, membrány, rukavice, kyslíkové ústní roušky a mnoho dalších aplikací. [24]

### 5.1.5 Polymethylmetakrylát

Polymethylmetakrylát je nejběžnějším akrylovým polymerem. Oproti jiným polymerům je polymethylmetakrylát bezbarvý a opticky čirý, takže propouští světlo až z 92 %. Výrobky z tohoto materiálu jsou bezbarvé, odolné proti otěru a povětrnostním podmínkám. [24]

Pro tento akrylát se hodí sterilizace gama zářením i etylenoxidem. Při sterilizaci gama zářením však dochází ke žloutnutí materiálu. Toto zežloutnutí je tím větší, čím větší je dávka

gama záření. Jedná se o zežloutnutí dočasné a obnova původního vzhledu je kompletní. [24]

Aplikace polymethylmetakrylátu se odvíjí především od jeho schopnosti propouštět světlo podobně jako sklo. Proto se z něj vyrábí pomůcky pro manipulaci s krví, drenážní jednotky, dýchací přístroje, urologické příslušenství, katétrů a další. [24]

### 5.1.6 Silikony

Silikon, známý také jako siloxan, je jedním z nedůležitějších elastomerů. Jedná se o silikonové kaučuky, které jsou velmi stabilní při nízkých i vysokých teplotách, zatímco jejich pevnost v tahu je poněkud nízká. Silikony jsou odolné proti vlhkosti, což neovlivňuje sterilizační metody. Mezi nejběžnější sterilizační metody, které se používají u zdravotnických prostředků obsahujících silikony, patří gama záření, pára v autoklávu nebo etylenoxid. [24]

Silikony se používají jako katétrů, umělá kůže, kontaktní čočky, umělé orgány, protézy částí těl, nebo při rekonstrukcích obličeje. [24]

Například na Floridě vyrábí silikonová zařízení, která nahrazují prsty, ruce, paže, nohy a části obličeje. Aktivní funkce jednotlivých typů kůže těchto protéz jsou ojedinělé, například vnější konstrukce silikonového ucha pomáhá přenášet zvuk do zvukovodu, silikonový nos zase chrání citlivé sliznice a brání před pronikáním částic do těla. [35]



**Obr. č. 12:** *Silikonová náhrada horní končetiny. [35]*

### 5.1.7 Hydrogel

Hydrogel je speciální akrylový polymer, který vzniká spojením akrylových a silikonových polymerů. Tyto polymery mají ve svém řetězci –OH skupiny, které jim propůjčují hydrofilní charakter. Při hojení ran jsou důležité obvazy z hydrogelu, které jsou navrženy tak, že v ráně udržují potřebnou vlhkost, která zlepšuje prostředí pro hojení rány a tělu umožňuje, aby se zbavilo nekrotické tkáně. Vlhkost v ráně také tlumí bolest, takže tyto obvazy přispívají k uklidnění a chlazení rány. [24]

Sterilizace těchto materiálů se provádí chemicky, přesněji namáčením v roztocích, které jsou k tomuto účelu určeny. [24]

Z hydrogelu se vyrábí měkké kontaktní čočky a obvazy. [24]

### 5.1.8 Polysulfon

Polysulfon je silný, tuhý, amorfní, vysokoteplotní termoplast. Tento termoplast je vysoce tepelně stabilní, houževnatý, pevný, transparentní neboli průsvitný a odolný proti vzniku trhlin. [24]

Polysulfon dobře snáší všechny typy sterilizací. Je dostatečně odolný proti gama záření, takže neexistují žádné důkazy o změně mechanických ani chemických vlastností v důsledku ozáření. Sterilizace autoklávem u polysulfonu může být provedena až tisíckrát při teplotě 140 °C bez změny mechanických vlastností. [24]

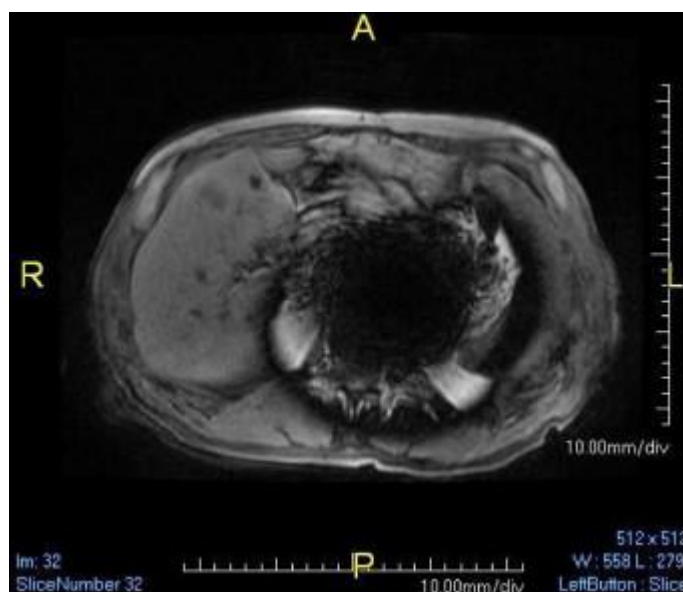
Příkladem využití polysulfonu jsou membrány, například membrána dializační. [24, 25]



**Obr. č. 13:** Dialyzační membrána tvořená svazkem dutých polysulfonových vláken. [25]

## 5.2 Paramagnetické materiály

Díky současným možnostem IMRI je nutné vyhrazení MR kompatibilního zařízení. V klasické chirurgii se používají běžné nástroje, které jsou vyrobeny z kovových materiálů. Takové nástroje jsou zcela nevhodné pro používání v poli MR. Mezi tyto nevhodné materiály patří například železo, které je silně přitahováno magnetickým polem. Paramagnetické látky jsou kovy a patří mezi MR kompatibilní, protože mají jen malou pozitivní náchylnost k magnetickému poli a mohou se tedy používat i v blízkosti MR skeneru. Materiály z paramagnetických látek můžeme rozdělit do tří kategorií. První skupina materiálů, které nevyvolávají žádné zkreslení obrazu při snímání MR, druhá skupina vyvolává nízkou úroveň zkreslení obrazu a ve většině aplikací je přijatelná a materiály patřící do třetí skupiny produkují již znatelné zkreslení obrazu, ale v některých aplikacích jsou přijatelné. Z kovových materiálů se používá především titan, hliník, platina a další. [1, 26]



**Obr. č. 14:** Zkreslení MR snímků pacienta, který má implantovaný stent z nerezové oceli. [16]

### 5.2.1 Titan

Titan je kov, který je v současné době jedním z nejpoužívanějších prvků. Používá se na výrobu chirurgických nástrojů a kovových tělních implantátů. Titan je takto využívaným materiálem především kvůli jeho vlastnostem a kompatibilitě s lidským organismem a MR. Titan v čistém stavu je relativně málo pevný v tahu a má nízkou únavovou schopnost. K průmyslovému vylepšování vlastností titanu se používají příměsi a vyrábí se tak titanové slitiny, takže získávají vysokou pevnost v tahu i únavovou pevnost. K nejčastějším prvkům, které se přidávají k titanu, jako příměsi, patří hliník, měď, zirkon, vanad či chrom. Většina těchto příměsí se k titanu přidává ve velmi malých množstvích. Titanové slitiny s lepšími mechanickými vlastnostmi jsou vhodné především pro chirurgické nástroje kompatibilní s MR. V titanových slitinách určených na výrobu tělních implantátů jsou obsaženy příměsi v podobě těžkých kovů, takže dlouhodobým působením tělních tekutin na implantát může docházet k jejich uvolňování do organismu a tím snižují biokompatibilitu konečného výrobku. [27, 28]

Na výrobu tělních implantátů se používá nanostrukturní titan neboli nanotitan, který je vysoce kompatibilní s MR, protože neobsahuje příměsi. Nanotitan je čistý titan se stavebními prvky s rozměry v nanometrech v čistotě 99 %. Nanotitan má lepší mechanické vlastnosti než titan a některé titanové slitiny. Dentální implantát je první klinickou aplikací nanostrukturního titanu. [27, 29]

**Tab. č. 1:** Srovnání vlastností titanu (*cpTi*) a nanostrukturního titanu (*nTi*). [27]

Materiál	Mez pevnosti [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [GPa]	Mez únavy při $10^6$ cyklů [MPa]
cpTi	700	530	20	105	340
nTi	1240	1200	12	100	620

Titanové tělní implantáty se často používají na výrobu implantátů páteře. Právě při operacích páteře se velmi často používá zobrazování MR a z tohoto důvodu je titan vhodným materiálem, protože jeho přítomností nedochází ke vzniku nežádoucích artefaktů, jimiž dochází ke znehodnocení požadovaných snímků, které jsou pro chirurga velmi důležité. [30]



**Obr. č. 15:** Srovnání MR snímků s implantáty z nerezové oceli (vlevo), z titanu (uprostřed) a z vitallia (vpravo). [30]

### 5.3 Keramika

Pojem keramika lze formulovat také jako uhlíkové nebo anorganické nekovové těleso, které je vyrobené či vytvarované vysokoteplotním procesem. Keramika je MR kompatibilní a rozdělujeme ji na klasickou a pokročilou. Klasická keramika má nespočet oblastí využití, mezi které patří například stavební průmysl, umělecká keramika nebo keramika určená pro vysokoteplotní používání. Z pokročilé keramiky se vyrábí kostní náhrady, prostředky podporující hojení ran. Mezi další keramické výrobky patří keramické chirurgické nástroje nebo dentální implantáty. [31, 32]

Tradiční keramika vzniká vypálením přírodních surovin. Po tomto vypálení obsahuje keramika vysoký podíl skelné fáze a pórů. Kromě těchto přírodních surovin se dnes používají i chemicky čisté práškové suroviny, jejichž produktem je keramika pokročilá, neboli vyspělá a zdokonalená. Tato keramika je buďto oxidová nebo neoxidová. Mezi oxidové keramiky patří například  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  nebo  $\text{MgO}$ , neoxidovou keramikou jsou nitridy, karbidy nebo boridy. Pokročilá keramika má oproti klasické mnohem lepší fyzikálně-chemické i mechanické vlastnosti. [31]

Výhodou keramických nástrojů je nejen možnost použití v poli MR, ale také jejich delší životnost, konkrétně je jejich životnost až 4x delší než životnost klasických kovových nástrojů. V porovnání s kovovými chirurgickými nástroji mají menší váhu, což oceňují uživatelé těchto nástrojů. Další jejich předností jsou výborné protiskluzné vlastnosti a dlouhotrvající ostrost bez opakovaného broušení. Díky výborné ostrosti hrotů jsou tyto nástroje výborné pro používání při důležitých chirurgických operacích v oborech, kterými jsou například neurochirurgie, kardiochirurgie nebo cévní chirurgie. [32]



**Obr. č. 16:** Keramické chirurgické nástroje. [32]



## 6 PŘÍKLADY ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÝCH PŘI IMRI

IMRI se od počátku jejího provádění střetává s mnoha výzvami. Na jejich základě probíhá již několik let výzkum, jehož cílem je získání MR kompatibilních nástrojů a zařízení. Jelikož nedostatek MR kompatibilních chirurgických nástrojů je jedním z hlavních omezujících faktorů dalšího vývoje IMRI, jsou nutné rozsáhlé změny nástrojů a zařízení vzhledem k silnému magnetickému poli. Cílem tohoto dlouhodobého vývoje je, aby na sále IMRI byly k použití připraveny všechny komponenty standardního operačního sálu. Nejvíce problematické z hlediska MR kompatibility jsou malé chirurgické nástroje. [33]

Během vývoje těchto nástrojů se řeší problémy nekompatibilních materiálů a hledají se vhodné alternativy, jež se testují při různých experimentech. Především je nutné vyhnout se všem feromagnetickým materiálům, ale i všechny nástroje z nemagnetických materiálů musí být nutně testovány, čímž se přesně určuje, zda nedochází k jejich posuvům v magnetickém poli MR. [33]

Další problematickou oblastí je elektricky aktivní vybavení, u kterého existuje možnost rušení snímání obrazu. Mezi další důležité komponenty, u kterých jsou nutná zvláštní přizpůsobení a pozornost, patří držák hlavy, mikroskop, vrták a navigační zařízení. [33]

Držák hlavy se používá na neurochirurgických operačních sálech a slouží k dokonalé fixaci hlavy pacienta. Tento držák je připevněn k pohyblivému operačnímu stolu, je navržen tak, aby pevně držel pacienta v požadované poloze a mohl být umístěn v silném poli MR. [33]



**Obr. č. 17:** MR kompatibilní držák pro uchycení lebky. [34]

MR kompatibilní mikroskop existuje již skoro 20 let a je uspořádán tak, že se vleze mezi magnety a může být umístěn i přes rameno chirurga. Mikroskop má pohyblivý stojan a je poháněn vzduchem. [33]

Mezi vybavení sálu IMRI patří také speciální operační stůl nebo MR kompatibilní svorky. [34]



**Obr. č. 18:** MR kompatibilní svorka. [34]



**Obr. č. 19:** Operační stůl určený pro IMRI. [34]

## ZÁVĚR

Záměrem bakalářské práce bylo nastínit problémy spojené s používáním nebo přítomností magnetických materiálů v poli magnetické rezonance a vytvořit přehled možností náhrad těchto magnetických materiálů kompatibilních s MR.

První část práce pojednává o tom, co je magnetická rezonance. Je zde popsáno, jak a na jakém principu probíhá vyšetření magnetickou rezonancí. Mezi výhody magnetické rezonance patří možnost snímků řezů v různých rovinách bez složité změny polohy pacienta. Naopak nevýhodou může být neznámá anamnéza pacienta a nemožnost určit kontraindikace.

Dále jsou v práci popsány různé implantáty, které mohou být přítomny v lidském těle a ovlivňovat nebo znemožňovat vyšetření. Mezi takové implantáty patří kardiostimulátory a mnoho dalších.

Třetí kapitola pojednává o problematice magnetických materiálů. Při působení silného magnetického pole může totiž docházet k posuvům, tedy pohybu předmětů z magnetických materiálů a také mohou být zahřívány, což představuje pro lidský organismus také jistá rizika. Nevýhodou takových materiálů je také to, že zkreslují MR snímky.

Další část poukazuje na intraoperační magnetickou rezonanci, omezení a rizika s tím spojená. IMRI umožňuje snímky v reálném čase během operačního zákroku, ale zároveň znemožňuje používání klasických kovových chirurgických nástrojů během těchto operací.

Následuje přehled materiálů, které jsou využívány jako náhrady materiálů magnetických. Mezi tyto materiály patří plasty, paramagnetické materiály a keramika. Nejrozšířenější variantou jsou plastové chirurgické nástroje a z paramagnetických materiálů je nejznámější a v současné medicíně hojně využívaný titan.

Poslední kapitola je věnována ukázkám nástrojů a zařízením používaných při IMRI.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ming Li, Dumitru Mazilu, Ankur Kapoor and Keith A. Horvath. MRI Compatible Robot Systems for Medical Intervention, *Advances in Robot Manipulators*, Ernest Hall (Ed.), ISBN: 978-953-307-070-4, InTech, 2010.
- [2] Možnosti a využití magnetické rezonance. *Zdravotnictví a medicína* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/moznosti-a-vyuziti-magneticke-rezonance-169278>
- [3] Magnetická rezonance – o metodě vyšetření MR. *Klinika PMT Brno* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.pmtbrno.cz/pro-pacienty.php>
- [4] Magnetická rezonance. *Vitalion* [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://vysetreni.vitalion.cz/magneticka-rezonance/>
- [5] Princip MRI. *fMRI Brno* [online]. [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: [http://fmri.mchmi.com/main\\_index.php?strana=13](http://fmri.mchmi.com/main_index.php?strana=13)
- [6] YEATMAN, Jason D., Michal BEN-SHACHAR, Gary H. GLOVER a Heidi M. FELDMAN. Individual differences in auditory sentence comprehension in children: An exploratory event-related functional magnetic resonance imaging investigation. *Brain and Language*. 2010, vol. 114, issue 2, p. 72-79. DOI: 10.1016/j.bandl.2009.11.006.
- [7] Body Implants. *SciTechStory: Tracking the impact of science and technology* [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://scitechstory.com/impact-areas/body-implants/>
- [8] Cardiac stents overview. *WebMD* [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.webmd.com/heart-disease/guide/stents-types-and-uses>
- [9] Cochlear implant. *MedlinePlus: Trusted Health Information of You* [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/007203.htm>
- [10] Spinal Implants. *Dr. Andrew Moulton: Orthopedic Surgeon in Sarasota, Florida* [online]. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.andrewmoultonmd.com/spinal-implants.php>
- [11] MORLACCHI, Stefano, Giancarlo PENNATI, Lorenza PETRINI, Gabriele DUBINI a Francesco MIGLIAVACCA. Influence of plaque calcifications on coronary stent fracture: A numerical fatigue life analysis including cardiac wall movement. *Journal of Biomechanics*. 2014, vol. 47, issue 4, p. 899-907. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2014.01.007.

[12] MIWA, Yosuke, Kyoko SOEJIMA, Toshiaki SATO, Akiko MAEDA, Akiko UEDA, Mutsumi MIYAKOSHI, Kyoko HOSHIDA, Satoshi HIGUCHI, Noriko MATSUSHITA, Mika NAGAOKA, Yuichi MOMOSE, Mitsuhiro KANAYA a Hideaki YOSHINO. A case of complete atrioventricular block: The use of magnetic resonance imaging conditional pacemakers for diagnosing cardiac sarcoidosis. *Journal of Arrhythmia*. 2014, vol. 30, issue 2, p. 111-114. DOI: 10.1016/j.joa.2014.01.004.

[13] Základní chirurgické nástroje [online]. [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: [http://www.szsemb.cz/admin/upload/sekce\\_materialy/Z%C3%A1kladn%C3%AD\\_chirurgick%C3%A9\\_n%C3%A1stroje.pdf](http://www.szsemb.cz/admin/upload/sekce_materialy/Z%C3%A1kladn%C3%AD_chirurgick%C3%A9_n%C3%A1stroje.pdf)

[14] Rozdělení materiálů podle magnetických vlastností. *Elektřina a magnetismus* [online]. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://elektross.gjn.cz/magn\\_pole/magn\\_materialy.html](http://elektross.gjn.cz/magn_pole/magn_materialy.html)

[15] Magnetické vlastnosti látek. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/295-magneticke-vlastnosti-latek>

[16] HIRAMOTO, Jade S., Linda M. REILLY, Darren B. SCHNEIDER, Herman SKOROBOGATY, Joseph RAPP a Timothy A.M. CHUTER. The effect of magnetic resonance imaging on stainless-steel Z-stent-based abdominal aortic prosthesis. *Journal of Vascular Surgery*. 2007, vol. 45, issue 3, p. 472-474. DOI: 10.1016/j.jvs.2006.11.031.

[17] Dentální slitiny a jejich kompatibilita s vyšetřením metodou magnetické rezonance. *Česká stomatologická komora* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://dent.cz/detail-novinky.php?id\\_polozka=517&id\\_strana=4](http://dent.cz/detail-novinky.php?id_polozka=517&id_strana=4)

[18] Safety in Magnetic Resonance Imaging. *Published on Society of Radiographers* [online]. [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.sor.org/learning/document-library/safety-magnetic-resonance-imaging-0>

[19] HENRICHS, Bernadette a Robert P. WALSH. Intraoperative Magnetic Resonance Imaging for Neurosurgical Procedures: Anesthetic Implications. *AANA journal*. Februar 2011, vol. 79, issue 1, p. 71-75. Dostupné z: [http://www.aana.com/newsandjournal/Documents/jcourse6\\_0211\\_p71-77.pdf](http://www.aana.com/newsandjournal/Documents/jcourse6_0211_p71-77.pdf)

[20] MCCLAIN, Craig D a Wilson T CHIMBIRA. Anaesthetic Concerns for Patients Undergoing Neurosurgical Procedures Utilising Intra-operative Magnetic Resonance Imaging. *European Neurological Review*. United States, 2013, vol. 8, issue 2, p. 164-169. Dostupné z: <http://www.touchneurology.com/system/files/private/articles/10813/pdf/chimbira.pdf>

- [21] MALHOTRA, V.P., R.K. RAINA a Sanjay RAJPUT. Application of polymers in innovative medical devices. In: *Medical plastics data service: A techno-economic news magazine for medical plastics and pharmaceutical industry* [online]. New Delhi, May, 2000 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.medicalplasticsindia.com/mpds/2000/may/technology03.htm>
- [22] White, M.J., Thornton, J.S., Hawkes, D.J., Hill, D.L.G., Kitchen, N., Mancini, L., McEvoy, A.W., Razavi, R., Wilson, S., Yousry, T., Keevil, S.F.; Design, operation, and safety of single-room interventional MRI suites: Practical experience from two centers; (2015) *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 41 (1), p. 34-43.
- [23] PELL, Randy. Surgical Instruments: Converting from Metal to Plastic. In: *Medical device and diagnostic industry* [online]. Arlington, VT, October, 2006 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.mddionline.com/article/surgical-instruments-converting-metal-plastic>
- [24] MCKEEN, Laurence W. Plastics Used in Medical Devices. *Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices*. Elsevier, 2014, p. 21-53. ISBN 9780323228053.
- [25] Tři kroky k vyšší kvalitě a bezpečnosti dialýzy. 2008. *BBraun sharing expertise* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://braunoviny.bbraun.cz/tri-kroky-k-vyssi-kvalite-a-bezpecnosti-dialyzy>
- [26] Schulz, T., Puccini, S., Schneider, J.-P., Kahn, T.; Interventional and intraoperative MR: Review and update of techniques and clinical experience; (2004) *European Radiology*, 14 (12), p. 2212-2227. Cited 38 times.
- [27] HRUŠÁK, Daniel, Michal ZEMKO, Luděk DLUHOŠ a Libor KRAUS. 2009. POUŽITÍ NANOSTRUKTURNÍHO TITANU PRO NITROKOSTNÍ IMPLANTÁTY. *Nanocon*. Rožnov pod Radhoštěm, Česká Republika. Dostupné také z: [http://konsys-t.tanger.cz/files/proceedings/nanocon\\_09/Lists/Papers/139.pdf](http://konsys-t.tanger.cz/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/139.pdf)
- [28] MOHAMMED, Mohsin Talib, Zahid A. KHAN, M. GEETHA a Arshad N. SIDDIQUEE. Microstructure, mechanical properties and electrochemical behavior of a novel biomedical titanium alloy subjected to thermo-mechanical processing including aging. *Journal of Alloys and Compounds*. 2015, 634: 272-280. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.02.095. ISSN 09258388.
- [29] FERRARIS, S., A. VENTURELLO, M. MIOLA, A. COCHIS, L. RIMONDINI a S. SPRIANO. Antibacterial and bioactive nanostructured titanium surfaces for bone integrati-

on. *Applied Surface Science*. 2014, 311: 279-291. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.05.056. ISSN 01694332.

[30] KNOTT, Patrick T., Steven M. MARDJETKO, Richard H. KIM, Timothy M. COTTER, Megan M. DUNN, Shivani T. PATEL, Matthew J. SPENCER, Alan S. WILSON a David S. TAGER. 2010. A comparison of magnetic and radiographic imaging artifact after using three types of metal rods: stainless steel, titanium, and vitallium. *The Spine Journal*. 10(9): 789-794. DOI: 10.1016/j.spinee.2010.06.006. ISSN 15299430.

[31] BUREŠ, Ivo, Jiřina LESNÁ a Jiří HAVLÍČEK. 2012. Uplatnění „advanced ceramics“ při hojení ran. *Medical Tribune* [online]. Hradec Králové [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.tribune.cz/clanek/25973-uplatneni-advanced-ceramics-pri-hojeni-ran>

[32] Instrumentária – Chirurgické nástroje. *Lawton medizin technik* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.hypokramed.cz/produkty-a-sluzby/instrumentaria>

[33] BLACK, Peter McL., Thomas MORIARTY, Eben ALEXANDER, Philip STIEG, Eric J. WOODARD, Langham GLEASON, Claudia H. MARTIN, Ron KIKINIS, Richard B. SCHWARTZ, et al. *The Development and Implementation of Intraoperative MRI and its Neurosurgical Applications* [online]. Boston, MA [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.spl.harvard.edu/archive/spl-pre2007/pages/papers/intra/intra.html>

[34] MR Surgical Suite. 2014. *GE Healthcare* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [http://www3.gehealthcare.com/en/products/categories/magnetic\\_resonance\\_imaging/mr\\_surgical\\_suite#tabs/tab8DDAFB22788244329DF155B67E418F3D](http://www3.gehealthcare.com/en/products/categories/magnetic_resonance_imaging/mr_surgical_suite#tabs/tab8DDAFB22788244329DF155B67E418F3D)

[35] Silicone Prosthetics. *Westcoast brace and limb* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.wcbl.com/prosthetics-2/newest-technologies/silicone-prosthetics/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

MR	Magnetická rezonance
CT	Počítačová tomografie
Fe	Železo
Ni	Nikl
Co	Kobalt
RF	Radiofrekvence
IMRI	Intraoperační magnetická rezonance
PVC	Polyvinylchlorid
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid hlinitý
ZrO <sub>2</sub>	Oxid zirkoničitý
MgO	Oxid hořečnatý



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. č. 1: Precesní pohyb. [5] .....	11
Obr. č. 2: Vyjádření Larmorovy frekvence. [5] .....	12
Obr. č. 3: Příčná magnetizace. [5] .....	12
Obr. č. 4: Trojrozměrné vykreslení povrchu mozku pomocí MR při působení různých podnětů. [6] .....	14
Obr. č. 5: Ukázky koronárních stentů (v části B zleva stent žádný, měkký, průměrný a těžký). [11].....	15
Obr. č. 6: Implantovaný dvoukomorový kardiostimulátor. [12].....	16
Obr. č. 7: Znázornění paramagnetické látky. [15] .....	19
Obr. č. 8: Znázornění systému pohyblivý magnet / stacionární pacient. [20] .....	22
Obr. č. 9: Zobrazení MR skeneru v samostatné místnosti mezi dvěma operačními sály. [19].....	23
Obr. č. 10: Přenosný MR skener určený pro operační sál. [19].....	23
Obr. č. 11: Zobrazení oblasti 5-Gauss za pohyblivou stěnou (A) a na operačním sále (B). [20] .....	25
Obr. č. 12: Silikonová náhrada horní končetiny. [35] .....	32
Obr. č. 13: Dialyzační membrána tvořená svazkem dutých polysulfonových vláken. [25] .....	33
Obr. č. 14: Zkreslení MR snímků pacienta, který má implantovaný stent z nerezové oceli. [16].....	34
Obr. č. 15: Srovnání MR snímků s implantáty z nerezové oceli (vlevo), z titanu (uprostřed) a z vitallia (vpravo). [30] .....	36
Obr. č. 16: Keramické chirurgické nástroje. [32] .....	37
Obr. č. 17: MR kompatibilní držák pro uchycení lebky. [34] .....	38
Obr. č. 18: MR kompatibilní svorka. [34] .....	39
Obr. č. 19: Operační stůl určený pro IMRI. [34] .....	39

## SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1: Srovnání vlastností titanu (cpTi) a nanostrukturního titanu (nTi). [27] ..... 35